



**Pedro Elias Frango
Gouveia**

DOMUS A – Automação de ambientes residenciais



**Pedro Elias Frango
Gouveia**

DOMUS A – Automação de ambiente residenciais

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor José Paulo Santos, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Carlos B. Carneira
professor auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa

Prof. Doutor Rui António da Silva Moreira
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Paulo Santos
professor auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Professor Doutor José Paulo Santos, o orientador desta dissertação, agradeço o apoio, a confiança e os conhecimentos transmitidos, não só no decorrer deste trabalho mas também ao longo do meu percurso académico.

Agradeço aos meus pais esta oportunidade de formação superior que me foi concedida. Agradeço-lhes ainda pelo apoio incondicional, pela motivação e pela confiança sempre presentes em todos os momentos do curso.

Quero agradecer ao meu irmão e irmã pela referência em termos de organização e objectivos académicos, pelos conhecimentos partilhados e pelo apoio demonstrado.

Agradeço à Cátia por se encontrar sempre a meu lado em todos momentos do curso e pela ajuda incalculável.

Gostaria de expressar a minha gratidão para com os meus amigos, mediante o seu apoio, companheirismo e ajuda, no decorrer de todo o curso e especialmente no período de desenvolvimento deste trabalho.

À minha família agradeço todo o suporte prestado ao longo do curso e particularmente neste recta final.

Agradeço à Beatriz Pereira, da parte da ABB, e ao Engenheiro Rogério Tomás, gestor de produto da F. Fonseca, pela informação disponibilizada.

palavras-chave

Automação, domótica, automação residencial, casas inteligentes, X10, comunicação através da rede eléctrica, microcontroladores.

resumo

O constante desenvolvimento da automação fez com que esta chegasse às nossas casas na década de 70. Desde então a qualidade de vida no que se refere ao ambiente doméstico subiu consideravelmente. O sector energético também foi beneficiado, pois surgiu assim uma nova forma de gerir os recursos energéticos domésticos. Hoje em dia deparamo-nos com uma extensa oferta, a nível de mercado da domótica. Existem inúmeros sistemas, cada um com diferentes soluções e com uma vasta gama de possibilidades de implementação, de forma a satisfazer as necessidades do utilizador. Entre eles, encontra-se o X10, que remonta às origens da automação residencial e que teve uma contribuição fundamental para o patamar actual da domótica. O X10 é muito procurado principalmente por ser uma tecnologia de baixo custo, no entanto, os seus níveis de fiabilidade são inferiores, quando comparado com outros sistemas líderes de mercado. Presentemente, este sistema não se encontra patenteado, o que justifica a existência de algumas variações no X10, dependendo do fabricante desta tecnologia. Por esta razão, o utilizador pode estar sujeito a incompatibilidades entre dispositivos X10 de fabricantes diferentes.

Este trabalho começou por uma pesquisa de informação sobre o sistema de domótica X10 e alguns dos seus concorrentes. Desta forma averiguou-se quais as limitações do X10 susceptíveis de um aperfeiçoamento, com o objectivo de poder vir a melhorar os seus níveis de fiabilidade, aproximando-o assim da concorrência. Para atingir esta meta, propôs-se um protocolo de comunicação mais eficiente o sistema em causa. De forma a implementar as soluções propostas e a estudar os seus resultados, foi necessária a construção de dispositivos X10 com uma unidade de processamento programável, possibilitando assim a inserção do novo protocolo nestes mesmos dispositivos.

Na solução proposta, manteve-se o conceito de tecnologia de baixo custo e preencheu-se a lacuna de fiabilidade do X10 adicionando-lhe técnicas de detecção de erros de transmissão.

Após a análise dos resultados, que se mostraram de acordo com as expectativas iniciais, concluiu-se que as alterações realizadas sobre o protocolo do sistema X10 contribuíram não só para um nível de fiabilidade superior, mas também para um aumento na velocidade de actuação.

keywords

Automation, domotics, home automation, smart homes, X10, Power Line Communications, microcontrollers.

abstract

The constant development of automation made it reach our homes in the 70's. Since then, the quality of life related to the domestic environment has risen considerably. The energy sector also took benefit from this achievement, as it led to a new way of domestic energy resources management. Nowadays, the home automation market offers us a wide range of options. The automation systems are numerous, each one with different solutions and several implementation possibilities, in order to meet the user's needs. Among them is the X10, which dates back to the origins of home automation and has had a major contribution to the current level of automation. The X10 is very popular mainly because it is a low-cost technology. However, its levels of reliability are lower when compared with other systems market leaders. Currently, this system is not patented, which justifies the existence of some variations in X10, depending on the manufacturer of this technology. For this reason, the user may be subject to incompatibilities between X10 devices from different manufacturers.

This work began with a research about the X10 home automation system and some of its competitors. In this way, it was found out which were the X10 limitations more likely to improve, with the purpose of being able to enhance its levels of reliability, thus bringing it closer to the competition. To achieve this goal, it was proposed a more efficient communication protocol for this system. In order to implement the proposed solutions and study the results, it was necessary to develop X10 devices with a programmable processing unit, allowing the insertion of the new protocol in those devices.

The proposed solution kept the concept of low-cost technology and filled up the gap in reliability of X10 by adding techniques of transmission error detection.

After the analysis of the results, which were according to the initial expectations, it was concluded that the changes made on the X10 protocol not only contributed to a higher level of reliability, but also to an increase in speed related to the controlling of devices.

Conteúdo

Lista de Figuras.....	17
Lista de Tabelas	19
Lista de Esquemas Eléctricos	20
Lista de Diagramas.....	20
1 Introdução.....	23
1.1 Organização.....	23
1.2 Problemas e Objectivos	24
1.3 Estado da Arte.....	24
2 Enquadramento Teórico.....	29
2.1 Sistema X10	29
2.1.1 Introdução	29
2.1.2 Ligações Eléctricas	29
2.1.3 Estrutura da Mensagem.....	32
2.1.4 Interfaces para Outros Sistemas	35
2.1.5 Programas de Configuração e Controlo	38
2.1.6 Síntese X10	39
2.2 Sistema QBUS	40
2.2.1 Introdução	40
2.2.2 Ligações Eléctricas	40
2.2.3 Estrutura da Mensagem.....	41
2.2.4 Interfaces para Outros Sistemas	43
2.2.5 Programas de Configuração e Controlo	45
2.2.6 Síntese QBUS.....	46
2.3 Sistema EIB.....	47
2.3.1 Introdução	47
2.3.2 Ligações Eléctricas	48
2.3.3 Estrutura da Mensagem.....	53
2.3.4 Interfaces para Outros Sistemas	54
2.3.5 Programas de Configuração e Controlo	58

2.3.6 Síntese EIB.....	60
3 Soluções Propostas.....	61
4 Implementação.....	69
4.1 Hardware	70
4.1.1 Módulos desenvolvidos	71
4.2 Software.....	88
4.2.1 Programa do Microcontrolador	89
4.2.2 Programa do Computador	98
5 Análise de Desempenho	107
6 Conclusões.....	119
7 Trabalhos Futuros	121
8 Referências e Bibliografia.....	123
ANEXOS.....	129
Anexo 1	131
Anexo 2	137
Anexo 3	139
Anexo 4	145

Lista de Figuras

Figura 1 – Representação dos sinais injectados sobre a tensão alternada (220V AC; 50Hz) [13] [14].	30
Figura 2 – Dígitos complementares [14].	30
Figura 3 – Esquema de comunicação de dispositivos X10 [15].	31
Figura 4 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (1ª parte).....	33
Figura 5 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (2ª parte).....	33
Figura 6 – Dispositivos de radiofrequência (os três da esquerda), infravermelhos (os três do centro) e comunicação com PC (à direita).	35
Figura 7 – Camada física de detecção dos zeros da tensão alternada [10].	36
Figura 8 – Camada física de detecção de sinal [10].	37
Figura 9 – Camada física de injeção de sinais na rede eléctrica [10].	37
Figura 10 – Interface gráfica para PC (Active Home).	38
Figura 11 – Interfaces X10 para dispositivos móveis (JAVA) [19].	39
Figura 12 – Esquemas de ligações eléctricas QBUS.	41
Figura 13 – Conectores SUB-D9 QBUS.	43
Figura 14 – Conectores RJ-45 QBUS.	44
Figura 15 – Módulo SMS QBUS.	44
Figura 16 – Módulo de interface áudio QBUS.	44
Figura 17 – Ecrãs tácteis QBUS.	45
Figura 18 – Aplicação Qbus Serial Manager.	45
Figura 19 – Qbus Home Center "HSB 04" [24].	46
Figura 20 – Rede eléctrica e BUS de comando.	48
Figura 21 – Esquema de ligações EIB [27].	49
Figura 22 – Esquema de ligações dos repetidores EIB.	50
Figura 23 – Exemplo de endereço de um participante EIB [27].	50
Figura 24 – Limitações físicas do EIB [27].	51
Figura 25 – Codificação do bit "0" e do bit "1" no EIB [7].	52
Figura 26 – Transmissão simétrica.	52
Figura 27 – Acoplador de BUS EIB.	54
Figura 28 – IP Gateway IG/S EIB.	55
Figura 29 – Interface RS232 EIB.	55
Figura 30 – Interface USB EIB.	55
Figura 31 – Interface Óptica EIB.	56
Figura 32 – IP Router EIB.	56
Figura 33 – AGFEO AS 181 EIB [30].	56
Figura 34 – Wireless Alarm Controller (WAC/EIB) [31].	57
Figura 35 – Diagrama de blocos do TP-UART-IP EIB [32].	58
Figura 36 – Interface gráfica da aplicação ETS3.	59

Figura 37 – Ligação do Palm PDA à rede de comunicação EIB [34].....	59
Figura 38 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (Tabela 15)...	64
Figura 39 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (Tabela 16)...	65
Figura 40 – Esquema de ligações do <i>hardware</i>	71
Figura 41 – Módulos desenvolvidos neste trabalho.....	72
Figura 42 – Áreas de funcionamento do módulo desenvolvido.....	73
Figura 43 – Interrupções externas geradas no pino RBO/INT.....	81
Figura 44 – Leitura de sinais da rede eléctrica com reencaminhamento para o computador.	90
Figura 45 – Interface gráfica.....	104
Figura 46 – Porta COM (à esquerda fechada; à direita aberta).	104
Figura 47 – Dispositivo residente (à esquerda desactivado; à direita activo)....	105
Figura 48 – Dispositivo remoto (à esquerda resposta inválida; à direita resposta válida).....	105
Figura 49 – Menu ficheiro.....	106
Figura 50 – Menu Protocolo (à esquerda Novo protocolo; à direita Protocolo X10 padrão).....	106
Figura 51 – Envio de caracteres para a rede eléctrica (interface gráfica).	106
Figura 52 – Bancada de testes de <i>hardware</i>	107
Figura 53 – Sinal à saída do regulador de tensão.....	108
Figura 54 – Sinal à saída da ponte retificadora.....	108
Figura 55 – sincronização com os 0V da rede eléctrica.	109
Figura 56 – Módulo X10 CM11.	110
Figura 57 – Sinal à entrada e à saída do filtro	110
Figura 58 – Sinal gerado pelo microcontrolador.....	111
Figura 59 – Frequência do PWM gerado pelo microcontrolador.....	112
Figura 60 – Sinal no colector do transístor.....	112
Figura 61 – Ligações ao MAX232.....	113
Figura 62 – Configuração do sistema com um módulo independente.	114
Figura 63 – Envio de comando para dispositivo X10.	114
Figura 64 – Recepção de comandos enviados pelo CM11.....	115
Figura 65 – Disposição dos equipamentos de domótica no T2.....	141



Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tabela de códigos X10.	32
Tabela 2 – Estrutura de uma mensagem simples X10 (1ª parte).	33
Tabela 3 – Estrutura de uma mensagem simples X10 (2ª parte).	33
Tabela 4 – Exemplo de mensagem com a instrução <i>Extended Code</i>	35
Tabela 5 – Estrutura de uma mensagem QBUSCOM.DLL (exemplo com função de parametrização).	42
Tabela 6 – Legenda da Tabela 5.	43
Tabela 7 – Estrutura da palavra EIB.	53
Tabela 8 – Estrutura típica de uma mensagem EIB.	53
Tabela 9 – Estrutura da mensagem do novo protocolo.	61
Tabela 10 – Estrutura de uma resposta a uma mensagem do novo protocolo. ...	61
Tabela 11 – Características do 2º, 3º e 4º parâmetro da mensagem.	62
Tabela 12 – Características do <i>Checksum</i> da mensagem.	63
Tabela 13 – Características do 2º, 3º e 4º parâmetro da resposta.	63
Tabela 14 – Características do <i>Checksum</i> da resposta.	63
Tabela 15 – Exemplo da estrutura de uma mensagem de acordo com o novo protocolo.	64
Tabela 16 – Exemplo da estrutura de uma resposta de acordo com o novo protocolo.	65
Tabela 17 – Estrutura da mensagem enviada por RS232 do computador para o PIC.	92
Tabela 18 – Byte TIPO MSG.	92
Tabela 19 – Bytes CÓDIGO CASA, CÓDIGO UNIDADE e CÓDIGO FUNÇÃO.	93
Tabela 20 – Bytes CHECKSUM I e CHECKSUM II.	94
Tabela 21 – Amostras de tempos de transmissão do novo protocolo.	115
Tabela 22 – Orçamentos para os sistemas de domótica estudados.	118
Tabela 23 – QBUS vs EIB vs X10 vs Novo protocolo	119
Tabela 24 – Orçamento X10 [6].	142
Tabela 25 – Orçamento QBUS (informação cedida pelo Engenheiro Rogério Tomás, Gestor de Produto da FFonseca, S.A.).	143
Tabela 26 – Orçamento EIB [45] [46].	144
Tabela 27 – Orçamento para o módulo desenvolvido (fornecedor – TVLAR, Aveiro).	145



Lista de Esquemas Eléctricos

Esquema Eléctrico 1 – Transformador baseado na informação da AN236.....	74
Esquema Eléctrico 2 – Transformador baseado na informação da AN954.....	75
Esquema Eléctrico 3 – Circuito projectado para a fonte de alimentação.	79
Esquema Eléctrico 4 – Detecção dos 0V da tensão alternada da rede eléctrica. ..	80
Esquema Eléctrico 5 – Filtro de sinal de alta frequência (120kHz).	84
Esquema Eléctrico 6 – Injecção do sinal de 120kHz.	85
Esquema Eléctrico 7 – Interface RS232.	86
Esquema Eléctrico 8 – Aspectos gerais do <i>hardware</i>	88

Lista de Diagramas

Diagrama 1 – Comunicação entre dispositivos segundo o novo protocolo.	67
Diagrama 2 – Leitura de sinais da rede eléctrica.	91
Diagrama 3 – Recepção de dados a transmitir para a rede eléctrica.	95
Diagrama 4 – Envio de uma mensagem X10 (novo protocolo).	96
Diagrama 5 – Comando direccionado para o LED azul.	98

1 Introdução

1.1 Organização

Neste primeiro capítulo (Introdução) encontra-se descrita a organização do trabalho, são dados a conhecer os problemas a resolver e os respectivos objectivos delineados para atingir uma possível solução para os mesmos. Seguidamente é exposto o estado da arte referente à domótica.

O segundo capítulo (Enquadramento Teórico) diz respeito à apresentação dos três sistemas domóticos intervenientes neste trabalho: o X10, o QBUS e o EIB. Os dois últimos surgiram como base de comparação com o X10, sendo o QBUS um sistema de sucesso internacional que se encontra disponível no mercado português, e o EIB um gigante europeu igualmente disponível em Portugal.

As soluções propostas para atingir os objectivos delineados encontram-se descritas no terceiro capítulo do trabalho (Soluções Propostas).

O quarto capítulo (Implementação) desenvolve o trabalho de implementação das soluções, quer a nível de *hardware* quer a nível de *software*.

A análise de desempenho do trabalho desenvolvido pode ser consultada no quinto capítulo (Análise de Desempenho).

O sexto capítulo (Conclusões) diz respeito às conclusões retiradas da realização deste trabalho. São colocados frente a frente os três sistemas comerciais e a solução desenvolvida neste trabalho. Estes são comparados a nível de tempo de actuação, fiabilidade e custos associados.

Seguidamente às conclusões, encontra-se a secção destinada à enumeração das propostas para trabalhos futuros (sétimo capítulo – Trabalhos Futuros).

Depois dos trabalhos futuros é exposta a lista de referências e bibliografia consultada para a execução deste trabalho (oitavo capítulo – Referências e Bibliografia).

No final juntam-se os anexos, contendo resumos de trabalhos de investigação, o esquema eléctrico completo dos módulos desenvolvidos, a descrição detalhada da análise de custos realizada aos três sistemas estudados e o orçamento para o *hardware* desenvolvido neste trabalho.

1.2 Problemas e Objectivos

A domótica nasceu com o lançamento no mercado do primeiro sistema de domótica, o X10. Este sistema subsiste na actualidade, evoluiu tecnologicamente ao longo dos tempos e hoje disputa os lugares de topo do mercado de domótica dos Estados Unidos da América. Contudo, encontra-se em desvantagem em relação à maioria dos concorrentes, a nível de comunicação. Esta assenta sobre um protocolo pouco evoluído, prejudicando assim os seus níveis de fiabilidade e velocidade de actuação. Por outro lado, o que leva o X10 a rivalizar com sistemas mais robustos, é o facto de ser um sistema de baixo custo.

Este trabalho tem como finalidade otimizar os níveis de fiabilidade e tempo de actuação do sistema X10, respeitando a sua melhor característica, o baixo custo. De forma a validar as soluções propostas, nomeadamente, a introdução de técnicas de verificação de erros de transmissão, a comunicação confirmada e uma nova estrutura para a mensagem, objectivou-se a construção de dois módulos capazes de comunicar através da rede eléctrica de acordo com as alterações realizadas aos padrões X10. Pretende-se com estes módulos comparar o envio de um comando segundo os parâmetros do sistema X10, com um comando de acordo com a solução proposta.

1.3 Estado da Arte

Actualmente, é comum cruzarmo-nos com sistemas automatizados e muitas vezes nem nos apercebemos da tecnologia envolvente, porque esta já se encontra enraizada na sociedade. A automação pode ser vista como um conjunto de técnicas aplicadas a um processo, com o objectivo de o tornar mais eficiente através da introdução de medições, auto-correcções e acções, sem necessidade de intervenção humana.

Inicialmente, a automação mereceu um lugar de destaque na indústria, tornando possível o sequenciamento de processos e a criação de linhas de produção independentes, com recurso ao controlo automático de máquinas com diferentes graus de complexidade. Posteriormente, o sector comercial também tirou partido das vantagens da automação. Foram introduzidas técnicas específicas na optimização de processos comerciais, como por exemplo, sistemas de controlo de stocks e identificação de mercadorias por códigos de barras ou rádio frequência. Finalmente, a automação chegou às nossas casas, surgindo assim os termos “Domótica”, “Casas Inteligentes” e “Automação Residencial”. Esta

vertente da automação veio transformar o ambiente doméstico, trazendo grandes benefícios para o utilizador. [1]

No início do seu desenvolvimento, a automação residencial era retratada através da ficção científica, onde muitas vezes surgia a designação de casas do futuro. Nessas casas, podíamos encontrar desde portas e janelas automáticas, até robôs que realizavam tarefas domésticas. Muita desta ficção é hoje uma realidade.

A domótica surgiu nos anos 70, ao serem lançados os primeiros projectos para habitações. Esta tecnologia desenvolveu-se no sentido de permitir a gestão de múltiplos recursos habitacionais, tais como energia, electrónica, informática, robótica e telecomunicações. O seu objectivo é promover aplicações e serviços, que garantam ao utilizador um aumento dos níveis de segurança e conforto, uma melhoria dos sistemas de comunicação, uma poupança energética e ainda um maior controlo sobre a casa. É de salientar a flexibilidade destes sistemas de automação residencial, pois encontram-se em constante desenvolvimento, acompanhando os avanços tecnológicos ao longo dos tempos. [2], [55]

Actualmente existem muitas empresas a operar neste ramo, sendo que, as mais desenvolvidas encontram-se no mercado europeu, americano e japonês. [3]

A nível europeu destaca-se o Konnex (KNX), cujas especificações iniciais surgiram no princípio dos anos 90, a partir das normas Batibus (*Batiment Bus*), EIB (*European Installation Bus*) e EHS (*European Home Systems*). Nessa altura, nada fazia prever que teriam um futuro comum. Estas três importantes soluções direccionadas para o controlo de vivendas e edifícios na Europa, tentaram desenvolver os seus mercados separadamente, de modo a conquistar um lugar na padronização Europeia. O Batibus implantou-se bem em Itália e Espanha, enquanto o EIB obteve maior sucesso nos países de língua alemã, e norte da Europa. O EHS era o sistema preferido para os electrodomésticos de grande porte e aparelhos de áudio e vídeo. [4]

Em 1997, estes três formaram um consórcio com o objectivo de desenvolver o mercado das casas inteligentes, acordando padrões industriais comuns, já com a intenção de ser proposto como padrão Internacional. As novas especificações KNX basearam-se na norma EIB, complementada com novos mecanismos de configuração e meios físicos de comunicação, inicialmente desenvolvidos para o Batibus e EHS. [4]

O KNX além de oferecer especificações para a automatização de equipamentos de instalação eléctrica, oferece também soluções para aplicações de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). Seguindo essa linha, a associação KNX propôs as suas especificações ao CEN (Comité Europeu de

Normalização) para publicação como padrão Europeu de sistemas de controlo e automatização de edifícios. O CEN aceitou a proposta, e as especificações KNX foram publicadas pelo CEN como Norma Europeia 13321-1. [4]

Devido a um interesse significativo, proveniente do exterior da Europa, por produtos compatíveis com KNX e pela sua tecnologia, a Associação KNX deu os primeiros passos para que o padrão fosse aprovado internacionalmente. Desta forma, em finais de 2004, os países activos da CENELEC TC 205 (Comité Europeu de Normalização Electrotécnica) propuseram o já padrão Europeu EN50090 para se tornar num padrão a nível mundial ISO/IEC. Em Novembro de 2006 o protocolo KNX e os seus suportes físicos TP (cabo), PL (Power Line – 230V) e RF (radiofrequência), foram aprovados para publicação como norma internacional ISO/IEC14543-3-x. Desta forma KNX torna-se o único padrão aberto, a nível mundial, para controlo de habitações e edifícios. [4]

Este sistema tem como vantagens: uma vasta gama de soluções para diferentes áreas da automação residencial, equipamentos modulares preparados para uma instalação em calha DIN (Deutsches Institut für Normung – Instituto Alemão de Normalização), proporcionar ao utilizador uma compatibilidade a 100% entre produtos KNX de fabricantes diferentes e ainda ser um sistema descentralizado, ou seja, os equipamentos não se encontram dependentes de um dispositivo central para exercer funções. [5]

Contudo o KNX apresenta como grande desvantagem em relação a outros sistemas de domótica, o elevado custo de *hardware* e *software*.

Quanto ao mercado americano, este é dominado pelo X10, pelo Consumer Electronic Bus (CEBus) e pelo Lonworks. [2]

O X10, de origem escocesa, surgiu na década de 70 e está relacionado com a origem da domótica. Presentemente este sistema não é patenteado, pois a sua patente caducou em 1997, o que despertou o interesse de muitos fabricantes, perpetuando o desenvolvimento tecnológico deste sistema. Mas a principal razão para a sua longevidade e difusão, encontra-se na sua vertente económica, pois este é um sistema de baixo custo. Esta vantagem faz com que o X10 dispute o mercado directamente com outros conceituados sistemas de domótica, apesar de apresentar limitações principalmente a nível de velocidade e fiabilidade de comunicação. [6]

O CEBus “(...) consiste num protocolo complexo e muito poderoso. As suas raízes datam de 1984, tendo sofrido uma constante evolução até ter sido objecto de normalização (ANSI/EIA-600) em 1995” [7]. Este sistema tem como mais-valias a sua fiabilidade e versatilidade, e é também dos sistemas tecnologicamente mais avançados. O CEBus peca pelos preços elevados dos seus

equipamentos, o que tem dificultado a sua implantação no mercado a nível mundial. [7]

A incompatibilidade entre alguns sistemas, com uma plataforma de comunicação comum, ou mesmo entre dispositivos do mesmo sistema mas de fabricantes distintos, que normalmente surge aquando da interacção entre equipamentos de áreas diferentes, sempre foi uma das barreiras a ultrapassar na domótica [54]. O Lonworks surgiu no final do século XX, com o intuito de superar este problema. Este sistema abrange diversas áreas de automação industrial, residencial e de escritórios, tendo sido reconhecida e adoptada como um padrão aberto para aplicações prediais pela *American National Standards Institute* (ANSI), em 1999, sob a chancela ANSI/EIA 709,3, e também qualificada, pelo *Intelligent Building Institute* (IBI), como uma das três tecnologias recomendadas para automação predial. O Lonworks é reconhecido pelos seus bons níveis de fiabilidade, pelos preços acessíveis e flexibilidade de instalação. [8]

No Japão, o sistema que predomina é o *Home Bus System* (HBS). Este nasceu no início dos anos 80, com estudos direccionados para o desenvolvimento de normas de comunicação via BUS. Apesar de este sistema ter um peso significativo no mercado da domótica, a informação acerca do mesmo é escassa. [9]

Embora se destaquem diferentes soluções nos mercados, estas na generalidade dos casos, dividem-se nas seguintes áreas [2]:

Automação e Controlo – Esta área lida com o controlo de aplicações e dispositivos domésticos como iluminação, climatização, estores, portas, janelas, fechaduras e sistemas de rega;

Segurança e vigilância – Proporciona protecção contra intrusões, avarias e acidentes, com recurso a alarmes de intrusão, câmaras de vigilância, alarmes pessoais, alarmes técnicos de incêndios, inundações, fugas de gás, entre outros;

Comunicações – Abrange a gestão de trocas de informação de voz ou dados, incluído texto, imagem e som, em redes locais. Possibilita o intercâmbio e a partilha de recursos entre dispositivos, como por exemplo o acesso à Internet.

Serviços e Lazer – Engloba serviços remotos, entretenimento, diversão, multimédia, cinema em casa, jogos de vídeo; captura, tratamento e distribuição de imagens fixas/dinâmicas e som dentro e fora da habitação.

Um sistema de domótica é composto por uma rede de comunicação entre uma série de dispositivos, com o objectivo de recolher informação e actuar sobre o ambiente residencial de forma a exercer o controlo e supervisão da casa. Existem sistemas de inteligência centralizada ou distribuída. Os primeiros

dispõem de uma unidade central de processamento de informação, a qual se encontra em comunicação com todos os outros dispositivos da instalação. Estes podem ser sensores, que recolhem e enviam dados para a unidade central, que por sua vez, toma decisões e envia comandos para actuadores, de modo a realizarem as acções desejadas. Os sistemas de inteligência distribuída dispõem de dispositivos com capacidade própria de processamento de dados. Neste tipo de sistemas, normalmente todos os dispositivos são capazes de comunicar entre si, directa ou indirectamente, de acordo com a tipologia da rede, possibilitando uma acção pronta dos actuadores.

Inicialmente os sistemas de automação residencial encontravam-se apenas direccionados para um controlo remoto dos equipamentos domésticos e de acordo com os parâmetros dos dispositivos pré-estabelecidos de fábrica. Na actualidade representam muito mais, sendo capazes de gerir todos os recursos de uma habitação de uma forma inteligente, automatizada e conforme as exigências do utilizador. Os sistemas têm evoluído no sentido de criar tecnologias com capacidade de auto-aprendizagem, baseadas em mecanismos utilizados pelo cérebro humano. Desta forma poderá existir um auto-ajuste dos parâmetros de controlo de uma habitação, sem a necessidade de intervenção humana.

As redes de comunicação dos sistemas de domótica são a base para o funcionamento da automação residencial. Estas permitem as trocas de informações e de dados provenientes de todo o ambiente doméstico ou mesmo do exterior. Os meios de comunicação destas redes são diversos, havendo a possibilidade de recorrer a tecnologia sem fios (radiofrequência ou infravermelhos), ou a comunicação por cabo (rede eléctrica, cabos de rede ou cabos de fibra óptica) [59]. É possível um sistema agregar diferentes meios de comunicação, para tal, são implementados protocolos que ditam as regras de comunicação entre todos os dispositivos da casa, quer estes funcionem sobre o mesmo meio de comunicação ou não. Um bom protocolo de comunicação deve proporcionar robustez às trocas de informações e dados, protegendo-as contra a introdução de erros, normalmente com origem na presença de radiação indesejada na rede ou na sobreposição de informação ou dados no mesmo canal de comunicação. Deve também proporcionar capacidade para albergar vários dispositivos na rede de comunicação e conferir rapidez à correspondência entre estes mesmos dispositivos.

De forma a aprofundar o conhecimento na área de investigação da domótica, efectuou-se um estudo a alguns trabalhos desenvolvidos. Em anexo encontra-se de forma resumida o conteúdo de cinco dos trabalhos estudados (Anexo1).

2 Enquadramento Teórico

2.1 Sistema X10

2.1.1 Introdução

O X10 foi desenvolvido na década 70 (1976–1978), pela empresa escocesa, Pico Electronics em Glenrothes. O seu nome deve-se ao facto deste sistema domótico ter sido o décimo projecto que a Pico Electronics desenvolveu. [10]

Posteriormente a empresa X10, Ltd, tomou posse da patente. Esta veio a expirar em 1997, pelo que, hoje o X10 é um protocolo aberto usado por muitas as empresas que comercializam produtos baseados no X10 [6]. As suas características competitivas fizeram com que este se difundisse rapidamente pela Europa e EUA. O facto de ter-se tornado um protocolo aberto, fez com que os fabricantes de equipamentos electrónicos pudessem fazer alterações e adaptações ao X10 de forma a melhor servir os seus propósitos paralelamente aos avanços tecnológicos.

O X10 destaca-se pelo recurso a tecnologia de baixo custo, com grande variedade de dispositivos, em que muitos deles são *Plug&Play*, recorrendo à rede eléctrica como meio de comunicação, o que simplifica a instalação. Em consequência de ter um protocolo de comunicação unidireccional pouco desenvolvido, que não possui detecção de erros nem colisões, o X10 está limitado a baixa velocidade e susceptível a ocorrência de erros de comunicação. [11]

2.1.2 Ligações Eléctricas

O X10 foi concebido de forma a facilitar a instalação do sistema numa qualquer habitação, independentemente da sua fase de construção, recorrendo à rede eléctrica doméstica como principal meio comunicação entre dispositivos. A comunicação entre dispositivos baseia-se na injeção de sinais de alta frequência na rede eléctrica (*Power Line Carrier* – PLC), sem interferir com as suas funções de fornecimento de energia [12]. As transmissões X10 são sincronizadas com os 0V da tensão alternada, sendo nesse preciso momento injectado ou não o sinal X10, de acordo com a informação a enviar. A injeção é repetida por mais duas vezes, desfasadas 120 graus entre si, de acordo com cada uma das três fases da rede

eléctrica trifásica. Estes sinais (oscilatórios) possuem amplitudes pico a pico (Vpp) que podem variar entre 25mV e 5V, têm uma frequência de 120kHz, e uma duração de 1ms cada (Figura 1). Para uma comunicação bem sucedida é necessário proceder ao início da injeção do sinal, no máximo 200µs após a tensão alternada passar pelo valor 0V. [6]

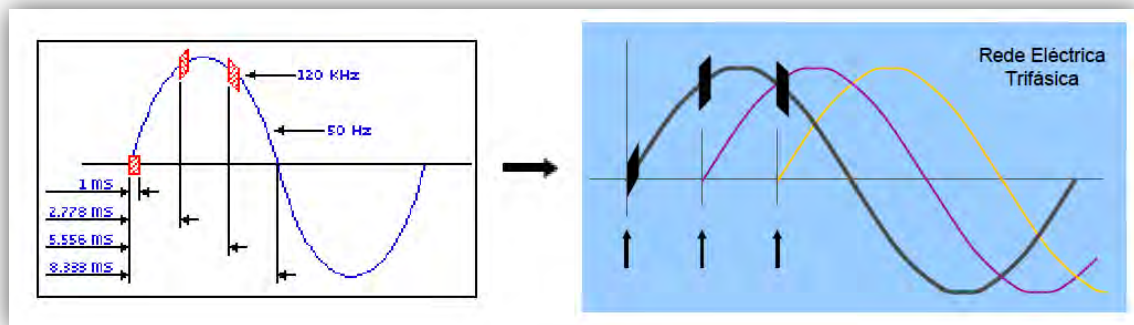


Figura 1 – Representação dos sinais injectados sobre a tensão alternada (220V AC; 50Hz) [13] [14].

O sinal é injectado três vezes, porque existe a possibilidade de haver dispositivos X10 instalados em diferentes fases da rede eléctrica. Assim com um simples acoplador de fase, é possível fazer circular a informação em diferentes fases, respeitando os padrões de sincronismo impostos pelo protocolo [14].

A presença deste sinal no instante em que a tensão alternada vai a 0V, significa um bit 1 e a ausência um bit 0. Cada dígito é transmitido juntamente com o seu complementar. Uma vez que uma onda completa da tensão alternada passa duas vezes pelo valor 0V, considera-se que na primeira é injectado o bit a ser transmitido e na segunda o seu complementar (Figura 2) [14].

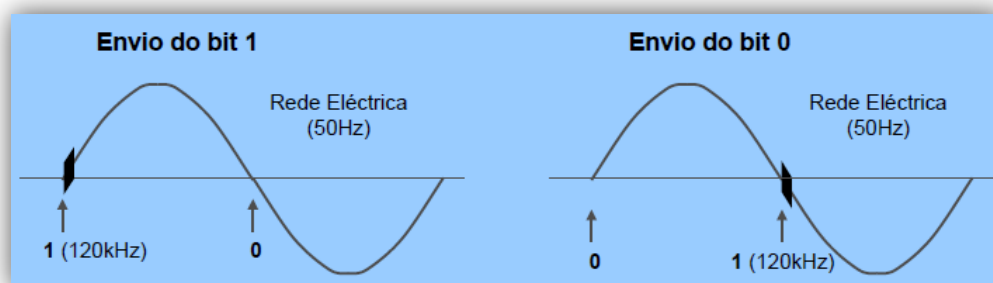


Figura 2 – Dígitos complementares [14].

De notar que o bit a ser transmitido nem sempre surge na vertente ascendente da tensão, pois este factor depende da vertente em que se inicia a comunicação (podendo esta ser na zona ascendente ou descendente). [11]

O dispositivo que pretende recolher a informação que transita na rede eléctrica, apenas tem que estar sincronizado com os 0V da fase em que se encontra instalado e detectar se nesse exacto momento, se encontra presente ou não o sinal de alta frequência.

Todos os dispositivos X10 encontram-se interligados através da rede eléctrica (Figura 3), sendo-lhes atribuído um endereço de forma manual, por via de programação ou pré-estabelecido de fábrica.

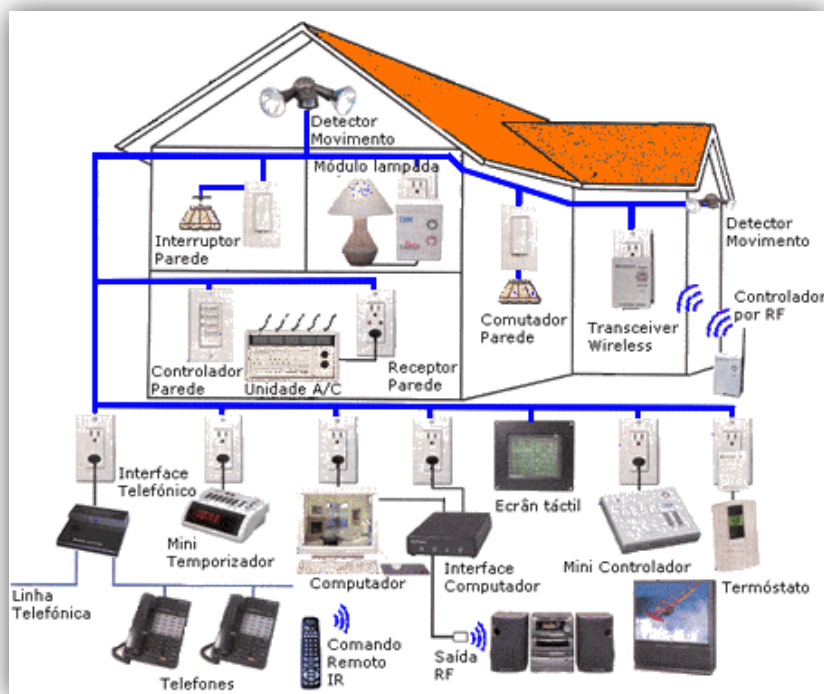


Figura 3 – Esquema de comunicação de dispositivos X10 [15].

Devido à resistência interna dos cabos da rede eléctrica, o sinal X10 é atenuado à medida que se afasta do emissor. Numa instalação típica o sinal consegue percorrer cerca de 80 metros, sem que verifique valores de V_{pp} inferiores a 100mV (valor mínimo perceptível para a maioria dos dispositivos X10). Para uma instalação relativamente extensa (transmissões superiores a 80 metro), é necessária a utilização de repetidores X10, os quais recebem os sinais X10 e efectuem a sua retransmissão amplificada. [6]

As interferências causadas por agentes externos (fontes de alimentação, motores eléctricos, lâmpadas fluorescentes, entre outros) podem prejudicar a comunicação X10, incutindo erros associados a ruídos com frequências próximas dos sinais X10 (120kHz). Igualmente prejudiciais, podem ser os dispositivos eléctricos, que devido a sua arquitectura, absorvem sinais de altas frequências (sinais X10), como por exemplo as *Uninterruptible Power Supply* (UPS), os monitores para PC e as tomadas com protecção contra picos de tensão [6]. Ambas as situações evitam-se com recurso a filtros de sinal utilizados na ligação dos dispositivos eléctricos problemáticos à rede eléctrica. [16]

Os padrões X10 não prevêem a detecção de colisões nem a confirmação da recepção de um comando. Estes aspectos contribuem para uma falta de robustez nas comunicações X10. [11]

2.1.3 Estrutura da Mensagem

As transmissões X10 são compostas por mensagens que contemplam uma série de informações (códigos) pré-estabelecidas (Tabela 1). Na Tabela 1 a letra “x” poderá representar um 1 ou um 0, sendo indiferente para o código em causa.

Tabela 1 – Tabela de códigos X10.

CÓDIGO CASA					CÓDIGO UNIDADE						CÓDIGO FUNÇÃO					
	H1	H2	H4	H8		D1	D2	D4	D8	D16		D1	D2	D4	D8	D16
A	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	All units OFF	0	0	0	0	1
B	1	1	1	0	2	1	1	1	0	0	All lights ON	0	0	0	1	1
C	0	0	1	0	3	0	0	1	0	0	ON	0	0	1	0	1
D	1	0	1	0	4	1	0	1	0	0	OFF	0	0	1	1	1
E	0	0	0	1	5	0	0	0	1	0	Dim	0	1	0	0	1
F	1	0	0	1	6	1	0	0	1	0	Bright	0	1	0	1	1
G	0	1	0	1	7	0	1	0	1	0	All lights OFF	0	1	1	0	1
H	1	1	0	1	8	1	1	0	1	0	Extended code	0	1	1	1	1
I	0	1	1	1	9	0	1	1	1	0	Hail request	1	0	0	0	1
J	1	1	1	1	10	1	1	1	1	0	Hail acknowledge	1	0	0	1	1
K	0	0	1	1	11	0	0	1	1	0	Pre-set dim	1	0	1	X	1
L	1	0	1	1	12	1	0	1	1	0	Extended Data (analog)	1	1	0	0	1
M	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	Status = ON	1	1	0	1	1
N	1	0	0	0	14	1	0	0	0	0	Status = OFF	1	1	1	0	1
O	0	1	0	0	15	0	1	0	0	0	Status request	1	1	1	1	1
P	1	1	0	0	16	1	1	0	0	0						

A Tabela 2, complementada pela Tabela 3, apresenta um exemplo de um comando para accionar (Código Função “ON”) um dispositivo de endereço “A 2” (Código Casa e Código Unidade). Este comando representa uma estrutura típica de uma mensagem simples X10. Na Figura 4 e Figura 5 encontram-se ilustrados os sinais X10 injectados sobre a tensão alternada da rede eléctrica, de acordo com a Tabela 2 e a Tabela 3 respectivamente.

Tabela 2 – Estrutura de uma mensagem simples X10 (1ª parte).

SEQUÊNCIA DE ENVIO							(continua)
	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO UNIDADE	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO UNIDADE	PAUSA
DESIGNAÇÃO	----	A	2	----	A	2	----
BINÁRIO	----	0110	11100	----	0110	11100	----
BITS A ENVIAR	1110	01101001	1010100101	1110	01101001	1010100101	000000000
CICLOS ONDA	2	4	5	2	4	5	4,5

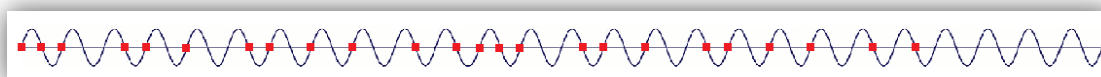


Figura 4 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (1ª parte).

Tabela 3 – Estrutura de uma mensagem simples X10 (2ª parte).

(continuação)							FIM
	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO FUNÇÃO	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO FUNÇÃO	----
DESIGNAÇÃO	----	A	ON	----	A	ON	----
BINÁRIO	----	0110	00101	----	0110	00101	----
BITS A ENVIAR	1110	01101001	0101100110	1110	01101001	0101100110	----
CICLOS ONDA	2	4	5	2	4	5	----

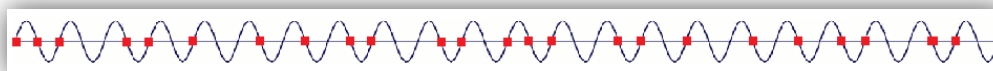


Figura 5 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (2ª parte).

Uma mensagem deste tipo demora cerca de 1 segundo a ser transmitida, pois esta ocupa:

$$2 + 4 + 5 + 2 + 4 + 5 + 4,5 + 2 + 4 + 5 + 2 + 4 + 5 = 48,5 \text{ Ciclos de Onda} \quad (1)$$

Sendo que a rede eléctrica funciona a uma frequência de 50Hz, logo:

$$\frac{48,5}{50} = 0,97s \quad (2)$$

Este tempo poderá variar ligeiramente, pois a pausa entre o envio da primeira parte da mensagem (Tabela 2) e a segunda (Tabela 3) poderá tomar diferentes valores (no mínimo 3 ciclos de onda) [7]. O tempo da pausa de 4,5 ciclos de onda apresentada na Tabela 2, foi obtido a partir de dados experimentais.

Como é possível verificar na estrutura da mensagem, o PREÂMBULO revela-se uma excepção à regra referente ao envio do bit complementar após o envio do bit significativo. Surge então que este é sempre composto por “1110”. [7]

Outra particularidade remonta às funções *Dim* e *Bright*, pois quando uma destas funções é utilizada, não é realizada qualquer pausa entre mensagens. As mensagens *Dim* ou *Bright* são enviadas de forma contínua, de maneira a obter-se uma intensidade desejada para uma lâmpada. [7]

Existem ainda algumas mensagens mais complexas, como por exemplo o *Hail Request*, o *Pre-Set Dim*, o *Extended Data* e o *Extended Code* (ver Tabela 1). [7]

O *Hail Request* é transmitido para verificar se existem outros dispositivos X10 dentro do alcance de comunicação. Este código solicita uma resposta dos dispositivos com o Código Casa, indicado na mensagem. [7]

A instrução *Pre-Set Dim* permite seleccionar dois níveis pré-definidos de intensidade luminosa. Neste caso o bit D8 (ver Tabela 1) corresponde ao bit mais significativo do valor a enviar, enquanto que H1, H2, H4 e H8 representam os quatro bits menos significativos. [7]

Juntamente com o Código *Extended Data*, seguem bytes de dados de 8 bits. Para tal, não podem existir lacunas entre os dados a enviar, caso contrário, poderá causar erros de funcionamento no dispositivo receptor. O primeiro byte de dados é usado para indicar quantos bytes de dados se seguem. O *Extended Code* executa-se de forma semelhante ao *Extended Data*, em que os bytes de 8 bits não correspondem a dados, mas sim a códigos adicionais. Com isto é possível expandir o número de códigos existentes no X10 (Tabela 4). Os caracteres “x” presentes na Tabela 4, poderão representar um 1 ou um 0, de acordo com a informação a enviar. [7]

Tabela 4 – Exemplo de mensagem com a instrução *Extended Code*.

SEQUÊNCIA DE ENVIO							FIM
	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO FUNÇÃO	CODIGO UNIDADE	Nº BYTES SEGUINTE	BYTES DADOS	---
DESIGNAÇÃO	---	A	Extended code	2	---	---	---
BINÁRIO	---	0110	01111	11100	XXXXXXXX	XXXXXXXX	---
BITS A ENVIAR	1110	01101001	0110101010	1010100101	XXX...	XXX...	---
CICLOS ONDA	2	4	5	5	8	XXX	---

2.1.4 Interfaces para Outros Sistemas

A tecnologia X10 está também associada a outros meios de comunicação, como a radiofrequência (RF), os infravermelhos (IR) e indirectamente a internet através de uma ligação com um computador (Figura 6).

A RF associa-se ao X10 por meio de módulos que recebem informação (sinais de RF) proveniente de controlos remotos, interpretando-a de forma a injectar na rede eléctrica o sinal X10 correspondente a acção desejada pelo utilizador. [6]

A participação dos IR nos sistemas X10 processa-se de forma idêntica à da RF. Existe um controlo remoto emissor de IR que transmite informação a um módulo receptor ligado à rede eléctrica, e este por sua vez traduz esta informação para sinais X10, a injectar na rede eléctrica. [6]

Para poder comandar os dispositivos X10 através da internet, é necessário recorrer a um módulo controlador, que por um lado comunica com um computador (PC) ligado à internet e por outro comunica com os dispositivos X10 através da rede. A comunicação entre o módulo controlador e o computador assenta sobre um protocolo próprio, diferente do protocolo usado para a comunicação através rede eléctrica. Torna-se então possível a conversão de instruções provenientes do PC em instruções X10, e vice-versa, tendo como intermediário o módulo controlador. [17]



Figura 6 – Dispositivos de radiofrequência (os três da esquerda), infravermelhos (os três do centro) e comunicação com PC (à direita).

Uma alternativa às interfaces atrás referidas, consiste na utilização de um microcontrolador para captar ou injectar sinais X10 na rede eléctrica. Estes dispositivos são capazes de realizar estas tarefas com facilidade, dada a sua velocidade de processamento poder atingir valores muito superiores aos 50Hz da rede eléctrica (por exemplo 20MHz). A Microchip disponibiliza informação de como construir um módulo X10, utilizando um microcontrolador (*Application Note* 236 – AN236). Nesta interface X10 são fundamentais três aspectos: sincronização com os zeros da tensão alternada, detecção e injeção de sinal X10. Para cada um destes aspectos é necessária uma camada física apropriada. [10]

Para estabelecer o sincronismo desejado é necessário proceder à detecção dos zeros da tensão alternada. Torna-se relativamente fácil implementar esta detecção no PIC16F877A, dada a sua capacidade de gerar interrupções (eventos) provocadas por um agente externo (neste caso a tensão alternada). No exemplo da Microchip, o PIC é configurado para gerar interrupções quando a tensão no pino RB0/INT comuta de uma tensão igual ou inferior a 0V para uma tensão positiva e vice-versa. Desta forma basta ligar este pino, com os devidos cuidados, à rede eléctrica para identificar o momento em que a tensão atinge o valor 0V. Conseguem-se então criar interrupções com um atraso de 64 μ s (no X10 são permitidos atrasos máximos, relativamente ao zero, de 300 μ s). Neste caso é necessária a utilização de uma resistência elevada para limitar a corrente no pino, salvaguardando assim o equipamento (Figura 7). [10]

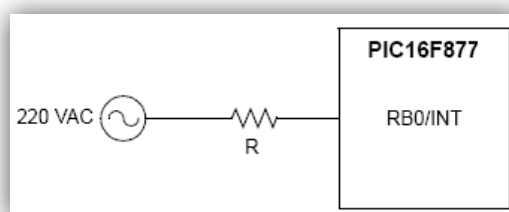


Figura 7 – Camada física de detecção dos zeros da tensão alternada [10].

A identificação da presença ou ausência de sinal de 120kHz é realizada com recurso: a um desacoplador capacitivo; a filtros passa alto (filtros que eliminam sinais de baixa frequência, deixando passar os de alta); a um amplificador de sinal e ainda a um detector de sinal (Figura 8). Depois de tratado, o sinal é enviado directamente para um pino do PIC. Quando é gerada uma interrupção por detecção de um zero, é realizada uma leitura ao pino responsável pela verificação de presença do sinal de 120kHz, de modo a poder interpretar como um 0 ou um 1. [10]

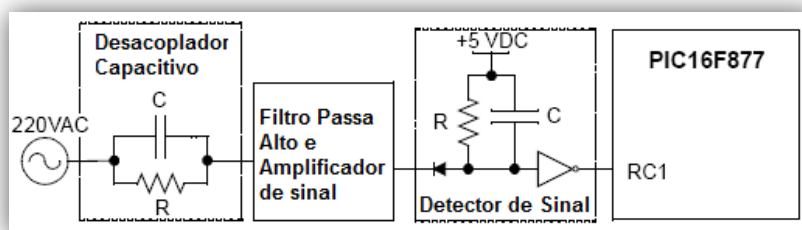


Figura 8 – Camada física de detecção de sinal [10].

Quanto à injeção de sinal na rede eléctrica, passa pela utilização de um circuito de 5V activado por um transístor, que por sua vez é controlado pelo PIC. Posteriormente o sinal modulado de 5V de amplitude é injectado na rede eléctrica por meio de um filtro passa alto (Figura 9). Neste caso é possível utilizar o pino RC3/CCP, dada a possibilidade de este ser configurado para gerar um PWM (Pulse Width Modulation), e assim criar um sinal de onda quadrada, com frequência de 120kHz e *duty cycle* de 50%. Visto que, relativamente à frequência do sinal, o X10 permite um erro de apenas $\pm 2\text{kHz}$, torna-se vantajoso utilizar um oscilador de 7.680MHz com o intuito de conseguir gerar um sinal com a frequência exacta de 120kHz. O sinal é gerado de forma contínua, pelo que, para o controlo desejado, é necessário recorrer à configuração do pino como saída, para injeção de sinal, ou como entrada para suspender a injeção de sinal. [10]

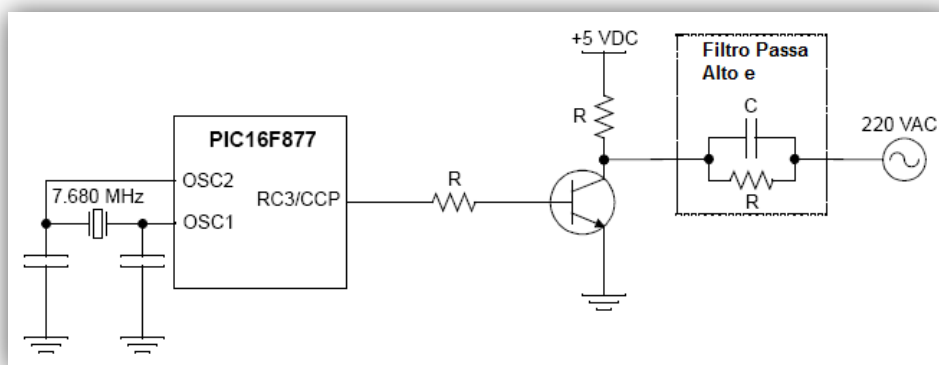


Figura 9 – Camada física de injeção de sinais na rede eléctrica [10].

Desta forma podemos criar uma interface X10, recorrendo a um PIC e utilizá-la associada a um computador como exemplo, ou a um outro equipamento controlado pelo próprio PIC, funcionando este como um dispositivo X10.

2.1.5 Programas de Configuração e Controlo

O utilizador tem diversas formas de interagir com os dispositivos X10. Para o efeito, estão disponíveis no mercado controlos remotos, interruptores, sensores, consolas, actuadores, entre outros. Estes dispositivos podem realizar uma ou ambas as tarefas: injectar sinais X10 na rede eléctrica; ler e interpretar sinais X10.

Existem dispositivos de interface bidireccional (como por exemplo o XM10, desde o CM11 ao CM19, entre outros), aos quais podem ser conectados dispositivos a controlar ou controladores. Estes controladores podem ser, por exemplo, computadores com *software* específico X10. O *software* acrescenta outras possibilidades de controlo, como por exemplo a programação temporizada de tarefas. A Figura 10 revela a interface gráfica do *software* para computador Active Home, utilizado no sistema X10. [18], [48]

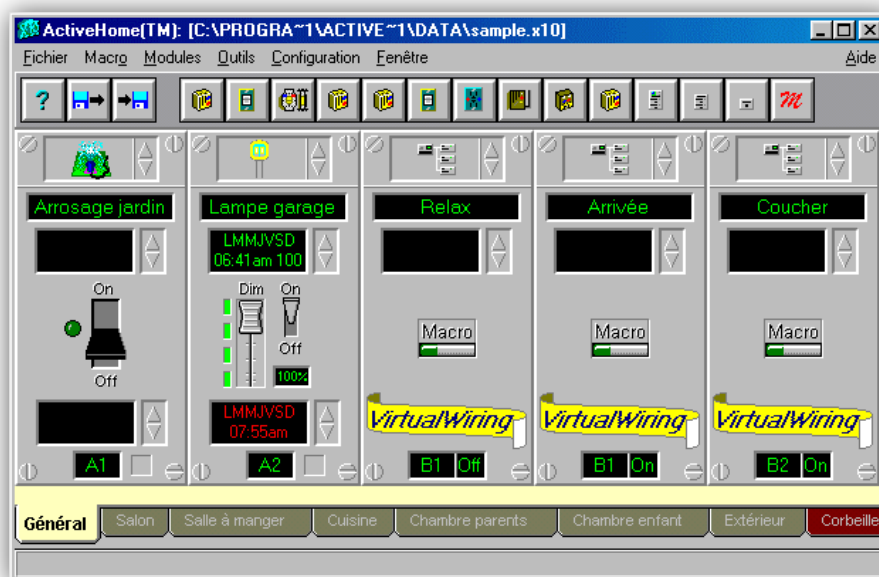


Figura 10 – Interface gráfica para PC (Active Home).

Em caso de recorrermos ao computador não só como controlador mas também como servidor, podemos ter acesso à rede domótica a partir da internet (virtualmente a partir de qualquer lugar).

Existem aplicações JAVA, que podem facilmente ser introduzidas num dispositivo móvel, preparadas para comunicar remotamente com o *software* X10 que corre num computador servidor (Figura 11). [19]



Figura 11 – Interfaces X10 para dispositivos móveis (JAVA) [19].

2.1.6 Síntese X10

O conjunto de características reunidas pelo X10 faz com que este sistema seja mais apropriado para utilizadores que procurem um nível de automação mais básico. Um factor a ter em conta é a estética, pois no X10 alguns dispositivos conectam-se directamente nas tomadas, ficando salientes. Este tipo de montagem não se torna agradável à vista, no entanto existem alternativas. A fiabilidade é outro aspecto que não favorece o X10, pois devido a algumas lacunas no protocolo de comunicação, a probabilidade da ocorrência de erros é significativa. O tempo de actuação do X10 pode induzir o utilizador em erro, por exemplo, no caso da regulação da intensidade luminosa o atraso na comunicação pode levar a um valor de intensidade, não desejado.

Por outro lado, o X10 tem a vantagem de ser uma tecnologia de baixo custo. Sendo este um factor de peso para os utilizadores, o X10 consegue ter sucesso no mercado, apesar dos aspectos menos favoráveis. Uma outra característica, também ela muito atractiva, é a simplicidade de instalação. Esta não necessita de ser realizada por um técnico qualificado, podendo um utilizador com conhecimentos básicos efectuar a sua própria instalação.

2.2 Sistema QBUS

2.2.1 Introdução

O QBUS, como sistema domótico, teve origem na Bélgica em 1999. Foi uma das muitas tecnologias usadas nos sistemas computacionais PDP (*Programmed Data Processor*) e MicroVax, os quais manufacturados pela Digital Equipment Corporation. Esta tecnologia surgiu como uma versão mais barata do Unibus, permitindo a partilha do meio de transmissão entre informação relativa a endereçamentos e dados (barramento de controlo). O QBUS tornou-se também um sistema mais compacto a nível físico, quando comparado com o Unibus, que utiliza como meio de comunicação 72 fios condutores, fazendo diferenciamento entre linhas: de endereçamento (barramento de endereços), de dados (barramento de dados), de sincronização, de alimentação, entre outras. [20], [52]

Ao longo dos tempos o QBUS sofreu algumas alterações, a evolução dos endereços físicos, inicialmente de 16 bits, passando depois para 18 bits e por último 22 bits, foi uma das mudanças mais significativas. Outra melhoria de igual relevância foi a inclusão da técnica de transmissão de dados por intermédio de pacotes de informação, de forma a melhorar a protecção contra erros de transmissão.

2.2.2 Ligações Eléctricas

O QBUS recorre a 2 fios condutores de secção 1 mm² (BUS), preferencialmente do tipo “par entrançado” blindado. A difusão dos sinais de comunicação e a alimentação de todos os módulos QBUS (à excepção do módulo controlador, que é alimentado por uma fonte externa de 18V DC, e de alguns módulos mais complexos) são efectuadas através do BUS. Embora exista polaridade no par de fios do BUS, os módulos QBUS estão concebidos de forma a poderem ser conectados “ignorando” esta polaridade, ou seja, não interessa a ordem de ligação dos fios positivo e negativo. [21], [50]

Quanto à estruturação das ligações, esta baseia-se num barramento (Figura 12). De modo a manter uma polaridade estável nos fios condutores, é necessário colocar, entre o fio positivo e o negativo, uma resistência (R) em série com um condensador (C). Deve ter-se em atenção a disposição das ligações, de forma a respeitar uma distância não superior a 200m, entre o controlador e um módulo. [21], [50]

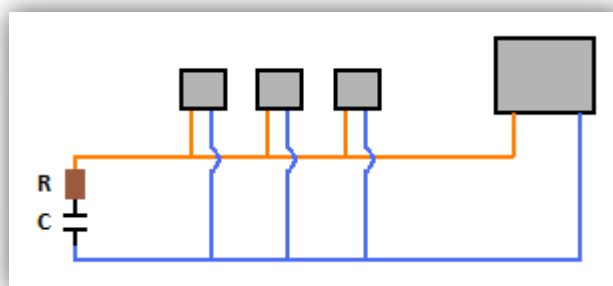


Figura 12 – Esquemas de ligações eléctricas QBUS.

Relativamente à comunicação, o BUS funciona de forma bidireccional, isto é, cada módulo pode enviar ou receber sinais. Em termos de velocidade de actuação o QBUS é bastante rápido, sendo possível comandar 400 saídas em cerca de 0,1s. Outra característica atractiva deste sistema, é a sua capacidade de suportar o envio de vários comandos em simultâneo, sem que ocorram conflitos no BUS. [21]

2.2.3 Estrutura da Mensagem

Não foi possível reunir informação suficiente acerca da comunicação entre dispositivos QBUS, de forma a decifrar a estrutura da mensagem. A falta de informação deve-se ao facto de este não ser um sistema de protocolo aberto. Optou-se então pela descrição da biblioteca de ligação dinâmica (*dynamic-link library* - dll), o QBUSCOM.DLL, disponibilizado gratuitamente e utilizado para gerar *softwares* de controlo e monitorização. Esta biblioteca pode ser usada por exemplo num *software* para computador, o qual deve estabelecer ligação com os dispositivos QBUS através de uma interface série (RS232 ou USB) ou através de Ethernet [57].

Este sistema tem capacidade de acolher vários dispositivos, sendo que o endereçamento é efectuado de 1 a 99 endereços, em que cada um deles pode ser dividido em 4 sub-endereços. [22]

Regra geral, todas as mensagens são enviadas em pacotes e são iniciadas por um “cabeçalho” que integra um conjunto de informações. A sequência de caracteres “QBUS” corresponde à primeira secção do “cabeçalho” (na ausência deste código o pacote em questão é ignorado), seguindo-se a versão do protocolo em utilização, depois uma identificação do pedido, uma identificação de função e por fim uma secção reservada para quando se trata de uma resposta a uma mensagem. [22]

Existem diferentes funções, estando cada uma delas associada a uma estrutura própria e a uma resposta.

Funções [22]:

- Leitura ou atribuição dos parâmetros do controlador;
- Leitura ou atribuição de nomes aos endereços seleccionados;
- Atribuição de textos fixos ao controlador (como por exemplo dias da semana), numa língua específica (apenas disponível em versões de controladores QBUS 8.00 ou superior);
- Leitura ou atribuição de um ou mais modos de funcionamento a um endereço;
- Leitura ou atribuição de parâmetros a um endereço seleccionado (o número de parâmetros varia com o modo de funcionamento);
- Leitura ou atribuição do conteúdo de um módulo QBUS;
- Leitura ou atribuição de uma tabela de configurações de cada endereço;
- Leitura ou atribuição de tabelas de temporização de funcionamento;
- Leitura ou atribuição de tabelas de programação (programas que envolvem o funcionamento de vários módulos QBUS, especificando o dia da semana e as horas em que são executadas as tarefas).

A Tabela 5 revela a estrutura de uma mensagem proveniente de um *software* criado com base no QBUSCOM.DLL (exemplo de mensagem de parametrização de um dispositivo). [22]

Tabela 5 – Estrutura de uma mensagem QBUSCOM.DLL (exemplo com função de parametrização).


SEQUÊNCIA DE ENVIO 						
CABEÇALHO	LEITURA OU ATRIBUIÇÃO	ENDEREÇO	MODO FUNC.	OFFSET	NÚMERO	PARÂMETROS
1	2	3	4	5	6	7

Tabela 6 – Legenda da Tabela 5.

Legenda	
1	QBUS, versão do protocolo, id. pedido, id função, resposta
2	Caractere "R" (<i>Read</i>) ou "W" (<i>Write</i>)
3	Um byte contendo o endereço
4	Sequência de dois caracteres que indicam o modo de funcionamento
5	Um byte contendo um <i>offset</i> relativo à posição dos parâmetros
6	Um byte contendo o número de bytes a ler ou a escrever a partir do <i>offset</i>
7	Sequência de bytes com os parâmetros a definir

Após o envio de uma mensagem com uma das funções atrás referidas, é transmitida uma resposta com um relatório de erros (erros tabelados) ou com informação, se esta for solicitada por uma função. Normalmente a estrutura da resposta é igual à estrutura da mensagem de função. [22]

2.2.4 Interfaces para Outros Sistemas

O QBUS tem a capacidade de agregar um conjunto de sistemas de comunicação.

A rede QBUS pode interagir com um PC ou um modem por intermédio de uma ligação série, usando um conector SUB-D9 (Figura 13). [23], [56]



Figura 13 – Conectores SUB-D9 QBUS.

É possível utilizar os módulos de interface Ethernet (ETH01, ETH02) para estabelecer uma ligação a uma rede ou a um dispositivo (um computador, um *router*, etc.) através de um conector RJ-45 (Figura 14). [23], [56]



Figura 14 – Conectores RJ-45 QBUS.

O módulo SMS (Figura 15) faz com que seja possível aceder a certos estados ou modificá-los à distância, através de um telemóvel. Este módulo também pode enviar autonomamente mensagens de alerta, ou de estado. Tem capacidade para controlar mais de 96 canais e memorizar 8 números de telefone, sendo estes os únicos que podem aceder ao módulo por SMS. [23], [56]



Figura 15 – Módulo SMS QBUS.

Uma outra interface que pode ser implementada no QBUS, é a interface de áudio (AUD04i–AUD04). Neste caso, podem ser controlados até 4 dispositivos áudio, pois os módulos para este efeito estão equipados com 4 entradas e 4 saídas *stereo*, e ainda 4 saídas de IR para controlo directo dos dispositivos áudio (Figura 16). [23], [56]

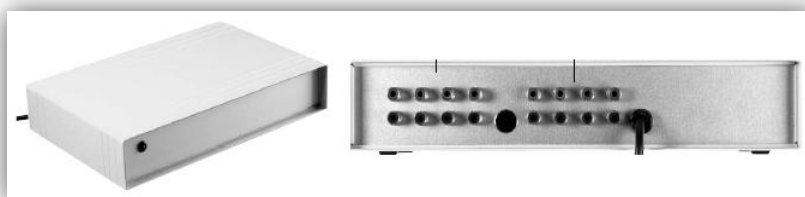


Figura 16 – Módulo de interface áudio QBUS.

O controlo dos módulos QBUS também pode ser realizado através de um ecrã táctil (Figura 17). Este ecrã tem a possibilidade de ser alimentado através do BUS ou de uma fonte externa. [23], [56]

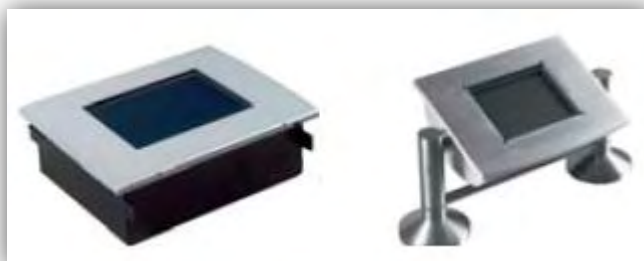


Figura 17 – Ecrãs tácteis QBUS.

2.2.5 Programas de Configuração e Controlo

A QBUS disponibiliza gratuitamente uma aplicação de programação e controlo do sistema domótico, o Qbus Serial Manager (Figura 18). A aplicação é executada a partir de um PC e possibilita um controlo total das funcionalidades dos módulos e respectiva programação. [24]

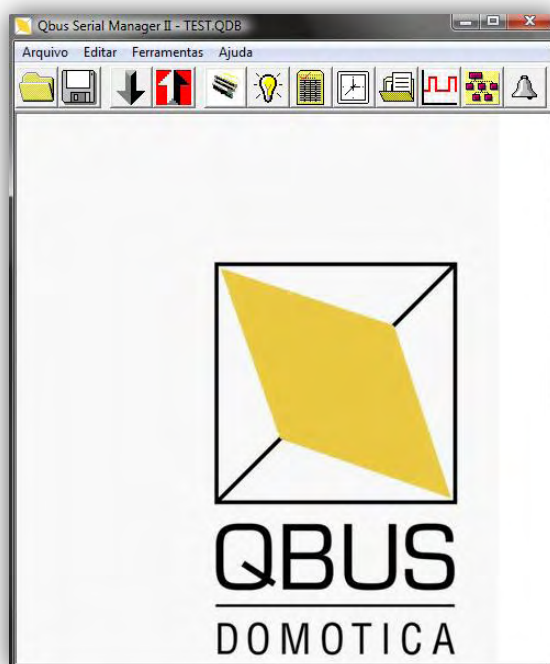


Figura 18 – Aplicação Qbus Serial Manager.

Existe outra aplicação que se destina à configuração e ao controlo do sistema, o Qbus Home Center “HSB 04” (Figura 19). Este *software* encontra-se optimizado a funcionar em equipamentos com interface de ecrã táctil. [24]



Figura 19 – Qbus Home Center "HSB 04" [24].

Para além destas aplicações, a QBUS fornece gratuitamente uma biblioteca, o Qbuscom.dll. Desta forma utilizadores mais avançados ou fabricantes podem desenvolver as suas próprias aplicações de configuração e controlo.

2.2.6 Síntese QBUS

O sistema QBUS encontra-se bem divulgado a nível de mercado europeu, pois revela-se uma solução robusta e tecnologicamente avançada, no que diz respeito à automação residencial. Esta tecnologia abrange praticamente todas as áreas da domótica, com bons níveis de eficácia e de fiabilidade. A característica menos atractiva do QBUS é sem dúvida o preço dos equipamentos.

2.3 Sistema EIB

2.3.1 Introdução

Antes de se pensar em automação residencial, os dispositivos eléctricos que se podiam encontrar nas habitações eram principalmente lâmpadas controladas por interruptores simples. O desenvolvimento tecnológico residencial trouxe novos equipamentos e consequentemente o seu controlo tornou-se mais complexo assim como as respectivas ligações eléctricas e naturalmente o risco de incêndios provocados por curtos circuitos aumentou. [25]

As primeiras soluções de automação para este problema tinham como objectivos simplificar as instalações, diminuir o número de cabos, tornar as instalações mais flexíveis e fiáveis. Além disso, tentou-se reduzir os custos sem comprometer a instalação em si. Inicialmente foram propostos sistemas baseados num controlo central da instalação. Contudo, estas propostas não eram compatíveis entre si, forçando o utilizador a optar apenas por uma solução. O sistema de controlo central também não se revelou o mais eficaz. [25]

Em 1987 a Siemens AG em conjunto com um grupo de construtores na área da electrónica (Gira, Jung, Merten e ABB), apresentou uma nova solução. O objectivo era criar um sistema que fosse capaz de monitorizar, controlar e aceder a todas as funcionalidades existentes num edifício. Este conceito convenceu muitos fabricantes, tendo estes fundado então a European Installation BUS Association (EIBA), a 8 de Maio de 1990. Foi então criado um sistema padrão tendo em conta os objectivos propostos, o European Installation BUS (EIB), historicamente também conhecido como Instabus. Este sistema prevê a descentralização e a “inteligência” distribuída pela rede de domótica. Encontra-se optimizado para a implementação em edifícios. Desde 1993 mais de 100 empresas europeias produzem equipamentos compatíveis com o EIB. [25], [49]

Hoje em dia o EIB encontra-se integrado no gigante europeu Konnex (KNX), que combina três tecnologias: o próprio EIB, o BatiBus e o EHS. Esta associação fez com que o KNX se tornasse um dos sistemas mais conceituados da Europa. [26]

2.3.2 Ligações Eléctricas

O EIB pode recorrer a diferentes meios de comunicação, sendo o mais utilizado, o par de fios trançados. Para além deste meio, o EIB permite a transmissão de informação através da rede eléctrica doméstica, de placas de circuitos impressos para calha DIN 46277, de cabos de fibra óptica, de infravermelhos e de radiofrequência. [27]

Na instalação EIB típica incluem-se duas redes distintas: uma rede de potência (rede eléctrica), para distribuição de potência aos actuadores e uma rede de comando (par de fios trançados), para transmitir informação e ordens de comando a todos os dispositivos EIB (Figura 20). [27], [58]



Figura 20 – Rede eléctrica e BUS de comando.

Os dispositivos EIB estão disponíveis em vários formatos: para encastramento, para montagem saliente, modulares para montagem em calha DIN e não modulares para montagem em chão ou tecto falso, em caixas de estores e em outros espaços vazios. [27], [58]

Relativamente à parte eléctrica, o EIB foi concebido com os seguintes objectivos [27]:

- Integrar funções, automatizando-as de forma independente e estabelecendo comunicação entre si;
- Facilitar futuras alterações na instalação;
- Diminuir os riscos de electrocussão, com tensão de funcionamento de 24V (Tensão Reduzida de Segurança – TRS);

- Simplificar comandos e proporcionar maior conforto de utilização;
- Facilitar a introdução de novas funcionalidade.

As ligações EIB encontram-se organizadas de forma hierarquizada. A entidade de nível inferior diz respeito aos participantes, sendo estes representativos de uma fonte de alimentação ou de um dispositivo EIB. Segue-se a linha EIB, à qual podem ser conectados até um máximo de 64 participantes. As linhas EIB podem ser agrupadas em zonas/áreas. Uma zona suporta um máximo de 15 linhas ligadas entre si (utilizando acopladores de linha) pelo cabo de comando e este último a um acoplador de zona. Por sua vez, o acoplador de zona encontra-se ligado a um outro cabo, linha *backbone*, que é responsável por estabelecer ligação entre 15 zonas no máximo (Figura 21). [27]

No total, esta estrutura consegue suportar 14400 participantes:

$$64 \times 15 \times 15 = 14400 \quad (3)$$

Porém, existe a possibilidade de expandir os participantes de uma linha através da utilização de repetidores. Podemos ligar até 3 repetidores a uma linha, sendo que cada um deles ocupa o lugar de um participante. Cada repetidor necessita de uma fonte de alimentação associada, que não consta como participante. Por sua vez, a cada repetidor podem ser ligados 64 novos participantes (Figura 22). [27]

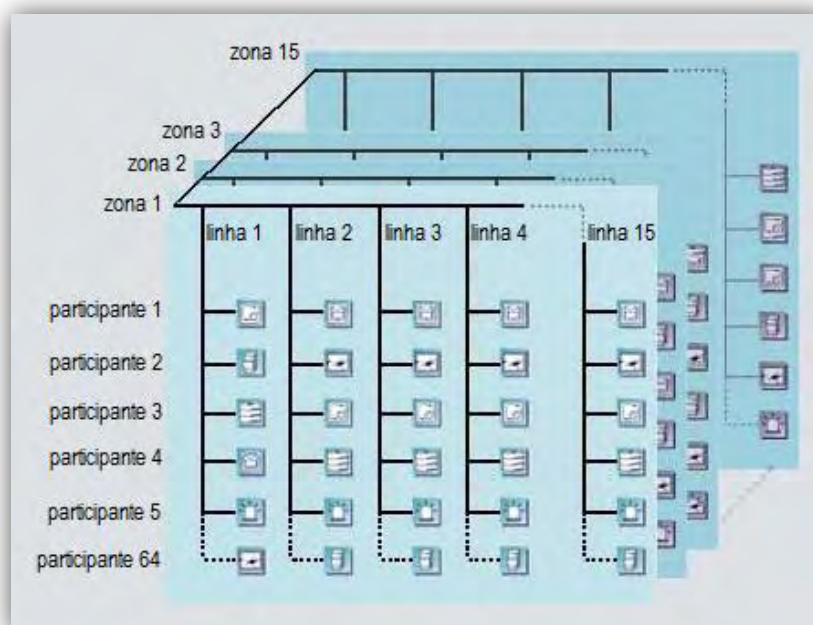


Figura 21 – Esquema de ligações EIB [27].

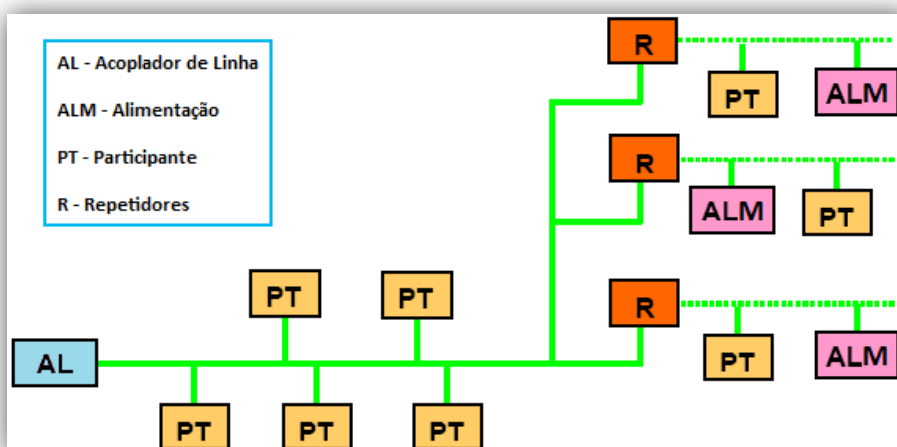


Figura 22 – Esquema de ligações dos repetidores EIB.

Os repetidores vêm assim aumentar para 253 o número de dispositivos por linha (total de 56 925 participantes na rede). Por outro lado, esta situação deve ser evitada, pois poderá provocar um congestionamento na linha de comunicação, originando atrasos nas transmissões. [27]

O endereçamento dos dispositivos é feito de acordo com o protocolo IP, com o formato AA.BB.CCC, em que AA corresponde à identificação da zona, BB à identificação da linha e CCC à identificação do participante (Figura 23). Uma das funções dos acopladores é fazer a filtragem de informação, para que uma dada mensagem destinada a uma linha e respectiva zona não interfira com as restantes (linhas e zonas).

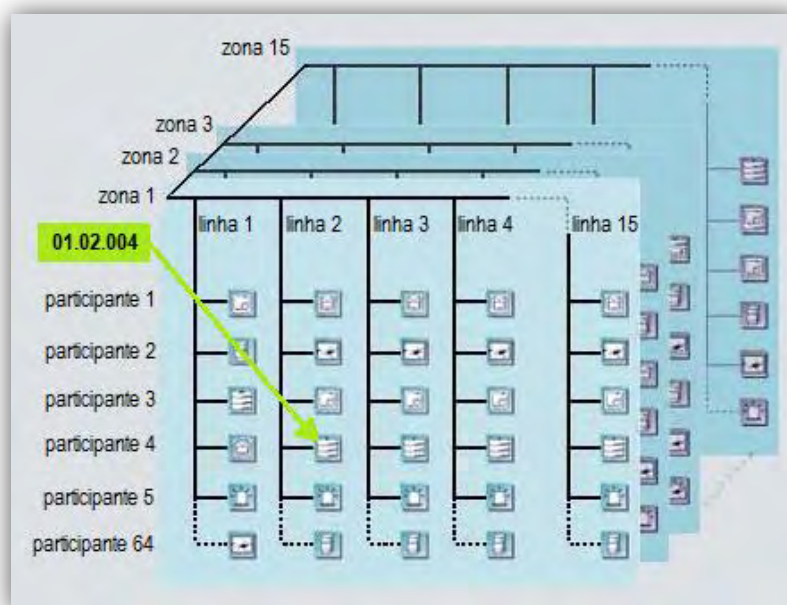


Figura 23 – Exemplo de endereço de um participante EIB [27].

As redes EIB podem ter diversas topologias: Ponto a Ponto; Estrela; Barramento e Árvore. As ligações fechadas (por exemplo em anel) não são suportadas por este sistema. [27]

Existem limitações físicas relacionadas com a atenuação dos sinais de comunicação, devido à resistência eléctrica dos cabos (Figura 24). Para manter o bom funcionamento do sistema, é necessário respeitar alguns comprimentos relativos às linhas de transmissão [27]:

- Distância máxima entre participantes – 700m;
- Distância máxima entre participante e fonte de alimentação – 350m;
- Comprimento máximo da linha – 1000m;
- Distância mínima entre fontes de alimentação – 200m;

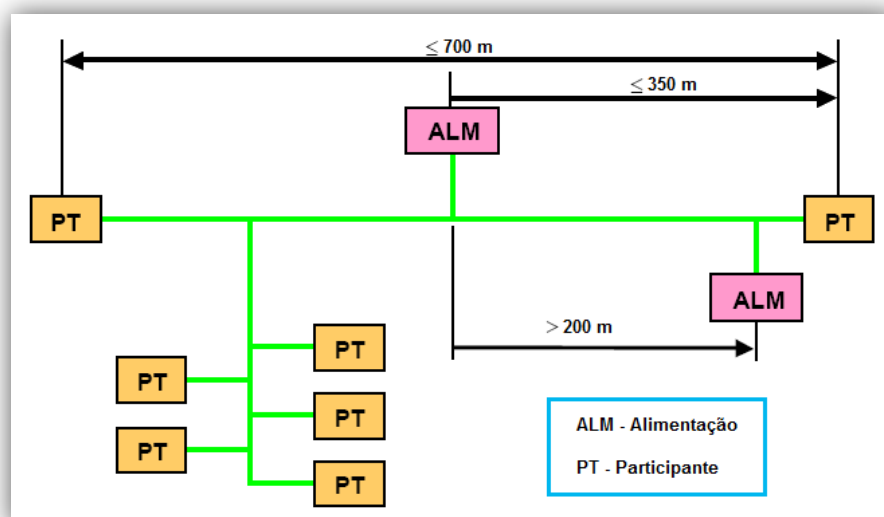


Figura 24 – Limitações físicas do EIB [27].

O acesso ao meio físico usa a técnica CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Todos os dispositivos escutam o meio físico e só transmitem se este estiver livre. Em caso de colisão, esta é resolvida de forma simples, baseando-se na sobreposição do bit “0” ao bit “1”. O dispositivo que envia bit “1”, imediatamente detecta que não é esse o bit que surgiu na linha e de seguida cancela a transmissão, permitindo que a transmissão do outro dispositivo prossiga sem ser afectada. A Figura 25 ilustra como são codificados os bits “0” e “1” num barramento EIB. [27]

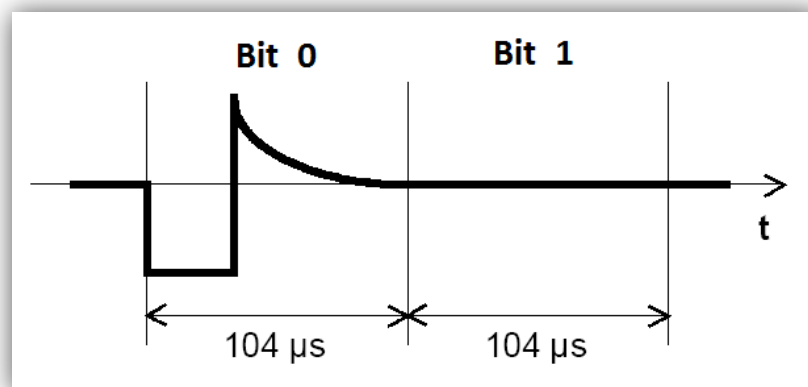


Figura 25 – Codificação do bit "0" e do bit "1" no EIB [7].

O sinal EIB é transmitido de modo simétrico. Esta técnica funciona como protecção contra ruído electromagnético induzido no BUS. Uma vez que o ruído surge em ambos os condutores com a mesma forma (dada a proximidade dos condutores) é fácil diferenciá-lo dos sinais EIB, pois estes circulam no BUS com uma forma simétrica (Figura 26). [27]

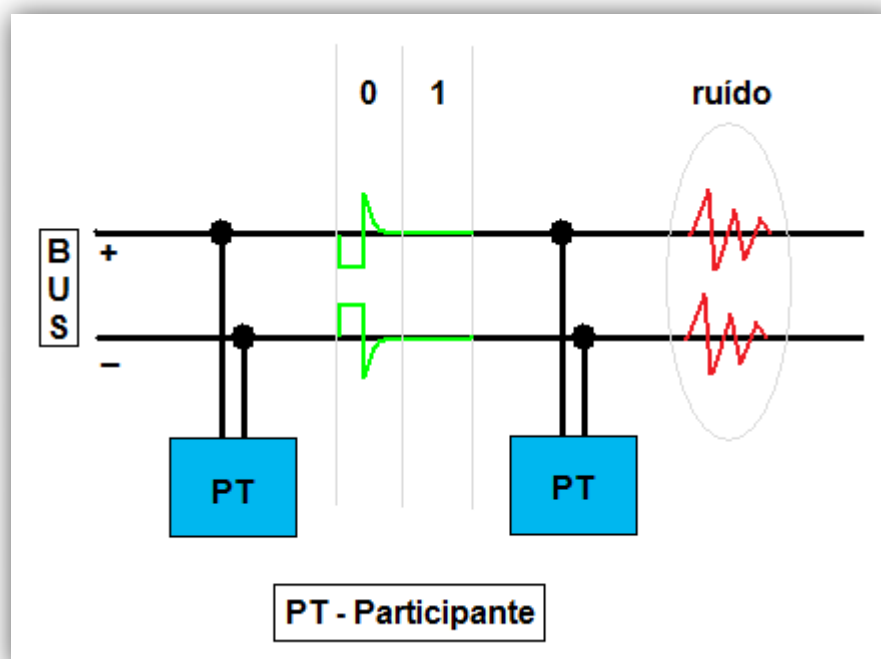
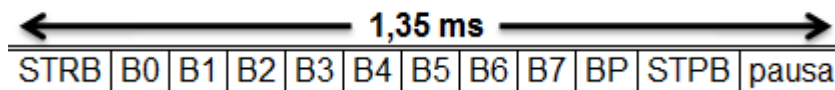


Figura 26 – Transmissão simétrica.

2.3.3 Estrutura da Mensagem

A informação, transmitida a 9600bps, é dividida em palavras de 8 bits (B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7). A cada palavra é-lhe adicionada no início um *start* bit (STRB), seguindo-se um bit de paridade (BP) e um *stop* bit (STPB) no final. Entre palavras existe uma pausa de dois bits. Portanto o tempo de envio de uma palavra é de 1,35ms (Tabela 7). [7]

Tabela 7 – Estrutura da palavra EIB.



O comprimento de uma mensagem EIB normalmente varia entre 9 e 24 bytes. [7]

Quando uma mensagem é recebida com sucesso por participante, este envia uma resposta a confirmar a recepção. Tendo em conta o tempo de envio e de resposta, a transmissão pode demorar entre 20 a 40ms. Se esta resposta não existir, a mensagem é reenviada. [7]

A Tabela 8 revela a estrutura típica de uma mensagem EIB.

Tabela 8 – Estrutura típica de uma mensagem EIB.

Sequência de envio						
Campo de Controlo	Endereço Origem	Endereço Destino	Contador	Comprimento	Dados	Verificação
8 bits	16 bits	16 + 1 bits	3 bits	4 bits	Até 128 bits	8 bits

O “Campo de Controlo” define a prioridade da mensagem e o seu conteúdo (emissão normal ou repetição). [27]

O endereço é uma grandeza de 16 bits, o que à partida, permite identificar até 65 536 (2¹⁶) dispositivos. O endereçamento está decomposto em 3 campos, distribuídos em 4 bits para identificar a zona, 4 bits para identificar a linha e 8 bits para identificar um participante. Estes endereços, designados endereços físicos, representam um dispositivo. O campo “Endereço Origem” é preenchido pelo endereço físico do emissor. O campo “Endereço Destino” possui um bit adicional que é usado para fazer o diferenciamento entre endereços físicos e endereços de grupo. Os endereços de grupo permitem estabelecer diferentes

combinações de ligações lógicas entre dispositivos, já que cada um destes tem capacidade para albergar múltiplos endereços de grupo. Quando é enviada uma mensagem para um endereço de grupo, esta é recebida por todos os dispositivos pertencentes a esse grupo. [7]

Os 3 bits do “Contador” indicam por quantos repetidores a mensagem terá que passar, no caso de estes serem utilizados. [27]

O parâmetro “Comprimento”, como o próprio nome indica, refere-se ao comprimento da mensagem, em bytes. [27]

Os “Dados” contêm a informação a transmitir: comandos, parâmetros, valores, etc. [27]

Por fim, o campo “Verificação” é utilizado para detecção de erros e é gerado em paridade ímpar. [27]

2.3.4 Interfaces para Outros Sistemas

Para além de um vasto conjunto de actuadores e sensores, tipicamente presentes num sistema domótico, o EIB possui vários dispositivos de interface. Os principais são:

- Acoplador de BUS – permite ligar à BUS sensores (interruptores, sensores de movimento, sensores de temperatura, entre outros), interface RS232 e interface de Infravermelhos (Figura 27) [28];



Figura 27 – Acoplador de BUS EIB.

- IP Gateway IG/S – permite a comunicação entre componentes EIB e dispositivos IP. O IG/S juntamente com o *software* ETS, possibilita a programação dos dispositivos EIB através de uma rede local (Figura 28) [28];



Figura 28 – IP Gateway IG/S EIB.

- Interface RS232 – Permite ligar um computador, uma impressora ou outro equipamento semelhante ao sistema EIB (Figura 29) [28];



Figura 29 – Interface RS232 EIB.

- Interface USB – Permite ligar um computador ao sistema EIB (Figura 30) [28];



Figura 30 – Interface USB EIB.

- Interface Óptica – Permite dar continuidade à comunicação em situações que envolvem grandes distâncias, por exemplo num sistema EIB que envolve dois ou mais edifícios. Para tal, são necessárias duas interfaces ópticas e cabos de fibra óptica (Figura 31) [28];



Figura 31 – Interface Óptica EIB.

- IP Router – Permite estabelecer ligações entre o BUS e redes locais (Figura 32) [29];



Figura 32 – IP Router EIB.

- AGFEO AS 181– Permite controlar e monitorizar o sistema EIB remotamente, através de um telefone. Tem também outras interfaces integradas (Figura 33) [30];



Figura 33 – AGFEO AS 181 EIB [30].

- Wireless Alarm Controller (WAC/EIB) – Permite comunicar com o sistema EIB, por intermédio de uma ligação RS232 ao módulo referido anteriormente (AGFEO AS 181), e com dispositivos sem fios

(radiofrequência) como por exemplo sensores, controlos remotos, entre outros (Figura 34) [31].



Figura 34 – Wireless Alarm Controller (WAC/EIB) [31].

As restantes interfaces desempenham funções semelhantes às aqui descritas, variando apenas em aspecto e/ou algumas funcionalidade, mas mantendo o mesmo tipo de comunicação (por exemplo o Gateway telefónico EIB analógico, que está preparado para configuração de mensagens áudio, sms e e-mail).

Em alternativa às interfaces atrás referidas, é possível aceder à informação que circula no BUS por intermédio do TP-UART-IC (Twisted Pair – Universal Asynchronous Receive transmit – IC). Este chip é composto por duas partes principais (Figura 35): parte digital (interface UART) e parte analógica (interface BUS). [5]

A parte digital é responsável pelo acesso ao meio, codificação e decodificação da estrutura das mensagens. Esta parte possui uma entrada para um oscilador, a qual pode ser conectado um cristal de quartzo ou injectado um sinal com a frequência de *clock* necessária. [5]

A parte analógica é constituída por um emissor, um receptor com um filtro passa banda acoplado e uma fonte de alimentação. Esta última funciona como um regulador de tensão linear com controlo de consumo de corrente (3mA). O emissor executa transmissões, cujos sinais atingem amplitudes na ordem dos 7,5 V. [5]

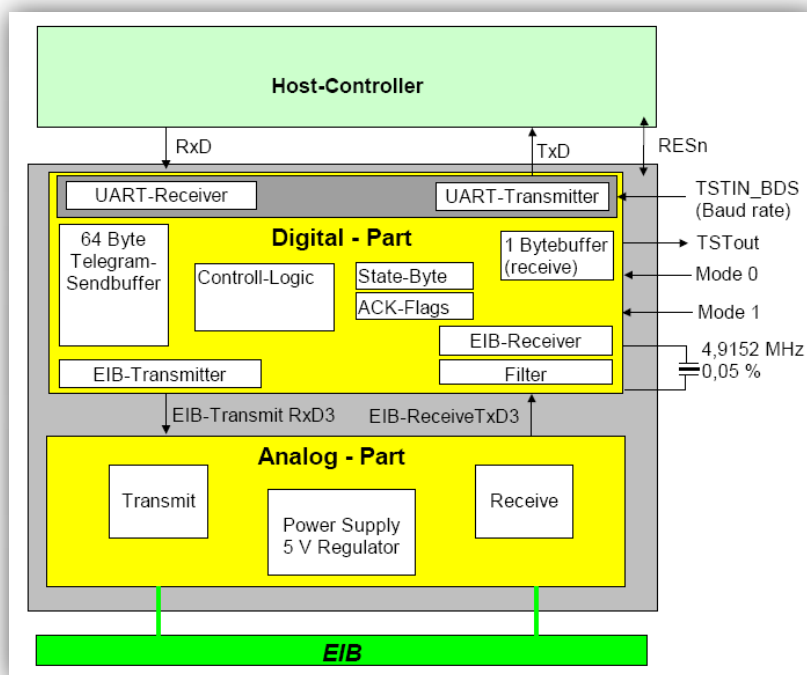


Figura 35 – Diagrama de blocos do TP-UART-IP EIB [32].

O papel de *Host-Controller*, representado na Figura 35, pode ser desempenhado, por exemplo, por um computador ou por um microcontrolador. A comunicação entre o chip e o *Host-Controller* pode realizar-se a 9600 ou a 19200 bps. [32]

2.3.5 Programas de Configuração e Controlo

Para a construção de um sistema EIB, toda a configuração dos dispositivos (identificação, atribuição de endereços físicos e de grupo, parametrização, etc.) é feita por intermédio de uma aplicação, o EIB Tool Software (ETS). Este *software* também pode ser utilizado para controlar e monitorizar os dispositivos. [33]

A KNX disponibiliza gratuitamente uma versão de demonstração do ETS, a qual se encontra limitada relativamente a algumas funcionalidades. Estão disponíveis para venda várias versões do ETS, pois esta tem sofrido actualizações desde o seu lançamento, em 1993. A versão mais recente e completa é o ETS3 Professional (Figura 36). [33]

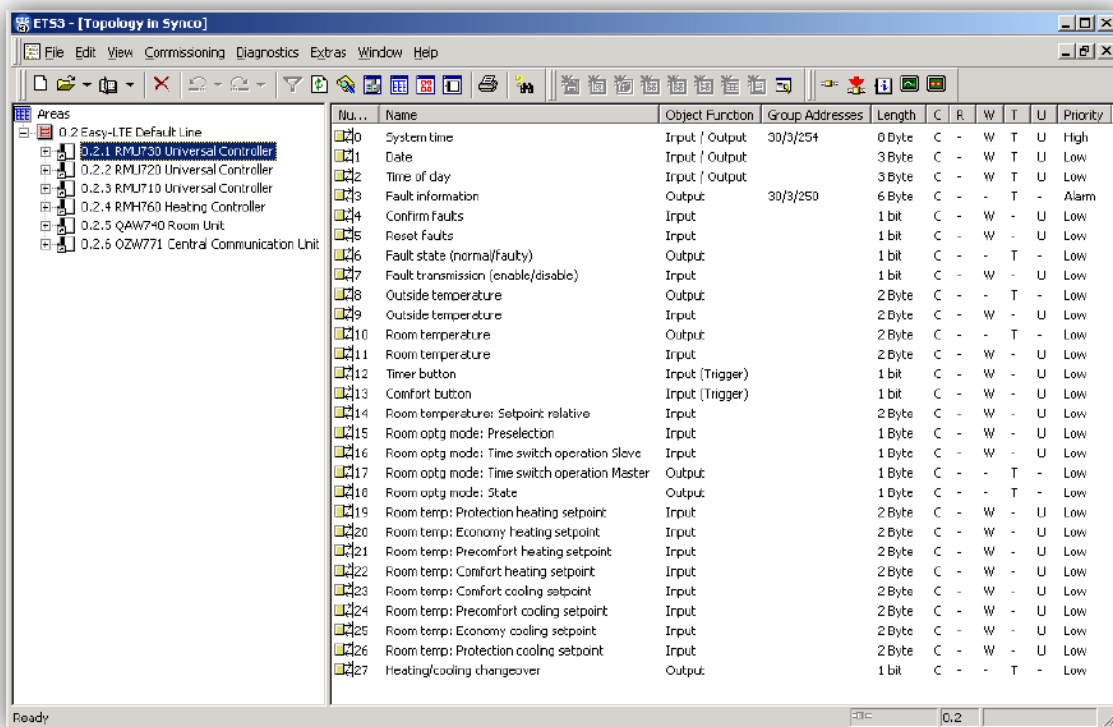


Figura 36 – Interface gráfica da aplicação ETS3.

Existem estudos em desenvolvimento para expandir as possibilidades de configuração e controlo no EIB. Exemplo disso, foi o projecto realizado pela Universidade de Ciências Aplicadas, na Alemanha. Propuseram-se a conseguir aceder à rede de comunicação EIB por meio de um Palm PDA, de forma a poder receber e enviar informação. Neste projecto foi utilizada uma ligação RS232 entre o PDA e a rede (Figura 37). [34]



Figura 37 – Ligação do Palm PDA à rede de comunicação EIB [34].



2.3.6 Síntese EIB

O EIB/KNX é de facto uma referência europeia, no que diz respeito à automação residencial, pois agrega um conjunto de soluções muito completas para a domótica. A tipologia das redes EIB permite a instalação deste sistema em residências isoladas, agrupadas num único edifício ou em grupos distribuídos por um conjunto de edifícios. Desta forma, particulares e empresas de construção podem adoptar a tecnologia EIB.

Para o utilizador que procura um alto nível de automação, com diversidade de equipamentos, conforto, segurança, fiabilidade, entre outros, pode optar pelo EIB. Em contrapartida, este sistema apresenta custos de instalação e equipamentos elevados.

3 Soluções Propostas

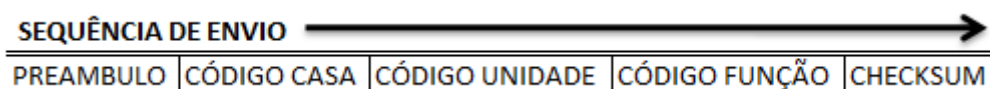
De forma a desenvolver esta tese, será proposto um novo protocolo para o X10. Este será testado com recurso à comparação entre as mensagens de comando “ON” e “OFF” associadas a cada um dos protocolos (X10 Padrão e Novo X10).

A nível da camada física, esta deverá seguir os mesmos princípios do X10, isto é, manter a estrutura da comunicação sincronizada com os zeros da tensão alternada e preservar todas as características dos sinais X10.

As alterações deverão surgir na camada de enlace, contudo, também serão aproveitados alguns conceitos do X10, nomeadamente a utilização do PREÂMBULO, dos códigos de endereços e funções e a utilização de bits complementares.

A Tabela 9 ilustra a estrutura da nova mensagem, composta por 5 parâmetros.

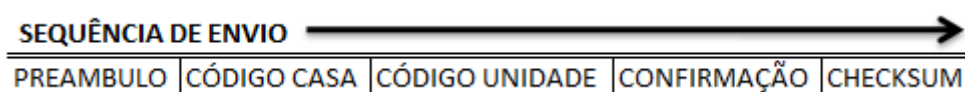
Tabela 9 – Estrutura da mensagem do novo protocolo.



Todos os parâmetros, à excepção do *Checksum*, serão originários dos códigos X10, isto é, o Preâmbulo consistirá no conjunto de 4 bits “1110” e os restantes (Código Casa, Código Unidade e Código Função) estarão de acordo com a Tabela 1. O bit D16 (ver Tabela 1) será excluído no novo protocolo, tanto para o Código Unidade como para o Código Função, uma vez que este já não será necessário para a nova mensagem.

Relativamente à comunicação bidireccional, significa que existirá uma resposta por parte do dispositivo que recebe um comando, confirmando a recepção da mensagem e indicando a possível ocorrência de erros de comunicação. A Tabela 10 exemplifica a estrutura da resposta (composta por 5 parâmetros) a uma mensagem.

Tabela 10 – Estrutura de uma resposta a uma mensagem do novo protocolo.



O parâmetro Confirmação é composto por 2 bits. O primeiro indicará se ocorreram ou não erros, “1” (ERRO) ou “0” (OK) respectivamente. O segundo bit será o complementar do primeiro.

O *Checksum* presente em ambas as estruturas, será utilizado pelo dispositivo que receber uma mensagem ou resposta, como forma de verificar se o conteúdo da informação foi alterado durante a transmissão. O cálculo do *Checksum* consistirá na soma do segundo, do terceiro e do quarto parâmetro, tanto para a mensagem como para a resposta. Os bits complementares não serão incluídos nesta soma, contudo, depois de efectuado o cálculo aos bits resultantes serão adicionados os respectivos complementares. Por fim, o *Checksum* será adicionado ao final da mensagem, como quinto parâmetro. O Preâmbulo será excluído do cálculo do *Checksum*, pois caso este não esteja correcto, fará com que automaticamente a informação recebida não seja reconhecida, como mensagem ou resposta do sistema.

Cálculo do *Checksum*

$$Checksum_{(mensagem)} = \text{CÓDIGO CASA} + \text{CÓDIGO UNIDADE} + \text{CÓDIGO FUNÇÃO} \quad (4)$$

$$Checksum_{(resposta)} = \text{CÓDIGO CASA} + \text{CÓDIGO UNIDADE} + \text{CONFIRMAÇÃO} \quad (5)$$

Exemplo do cálculo do *Checksum* aquando do envio de um comando para ligar um dispositivo com Código Casa “A”, Código Unidade “2” e Código Função “ON”:

Mensagem

Tabela 11 – Características do 2º, 3º e 4º parâmetro da mensagem.

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO	BINÁRIO	BITS A ENVIAR
CASA	A	0110	01101001
UNIDADE	2	1110	10101001
FUNÇÃO	ON	0010	01011001

$$Checksum_{(binário)} = 0110 + 1110 + 0010 = 010110 \quad (6)$$

Tabela 12 – Características do *Checksum* da mensagem.

	BINÁRIO	BITS A ENVIAR
CHECKSUM	010110	011001101001

Nota: O *Checksum* será composto por 6 bits, de modo a contemplar o valor máximo possível na soma de três parcelas, em que cada uma delas é constituída por 4 bits.

Resposta (transmissão sem a ocorrência de erros)

Tabela 13 – Características do 2º, 3º e 4º parâmetro da resposta.

CÓDIGO	DESIGNAÇÃO	BINÁRIO	BITS A ENVIAR
CASA	A	0110	01101001
UNIDADE	2	1110	10101001
CONFIRMAÇÃO	OK	0	01

$$Checksum_{(\text{binário})} = 0110 + 1110 + 0 = 010100 \quad (7)$$

Tabela 14 – Características do *Checksum* da resposta.

	BINÁRIO	BITS A ENVIAR
CHECKSUM	010100	011001100101

É de referir que a técnica de detecção de erros *checksum*, em algumas situações pode falhar. Por exemplo, a propriedade comutativa da soma, ou mesmo diferentes combinações dos valores das parcelas, podem originar falhas nesta técnica.

Mensagem original:

$$Checksum_{(\text{binário})} = 0110 + 1110 + 0010 = 10110 \quad (8)$$

Falha relacionada com a propriedade comutativa:

$$Checksum_{(binário)} = 1110 + 0110 + 0010 = 10110 \quad (9)$$


Falha relacionada com diferentes combinações das parcelas:

$$Checksum_{(binário)} = 1010 + 1010 + 0010 = 10110 \quad (10)$$

Por outro lado, esta é uma técnica simples e com uma eficácia satisfatória, que pode ser facilmente implementada em dispositivos com baixa capacidade de processamento (normalmente dispositivos de baixo custo) e ser executada com rapidez [35]. Para complementar esta técnica, o novo protocolo deverá também ter em conta a comparação entre os bits e os seus complementares, para fins de detecção de erros. Estas duas técnicas aliadas deverão ser suficientes para a criação de um protocolo mais robusto, sem prejudicar o custo dos dispositivos ou a velocidade de processamento de dados.

A Tabela 15 e a tabela 18 exemplificam a estrutura de uma mensagem e da respectiva resposta, de acordo com o novo protocolo. O exemplo refere-se ao accionamento de um dispositivo com o Código Casa “A” e o Código Unidade “2”. Os bits a enviar para a rede eléctrica, representados em cada uma das tabelas, encontram-se ilustrados na Figura 38 (mensagem) e na Figura 39 (resposta).

Tabela 15 – Exemplo da estrutura de uma mensagem de acordo com o novo protocolo.

SEQUÊNCIA DE ENVIO 					
	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO UNIDADE	CODIGO FUNÇÃO	CHECKSUM
DESIGNAÇÃO	----	A	2	ON	----
BINÁRIO	----	0110	1110	0010	010110
BITS A ENVIAR	1110	01101001	10101001	01011001	011001101001
CICLOS ONDA	2	4	4	4	6

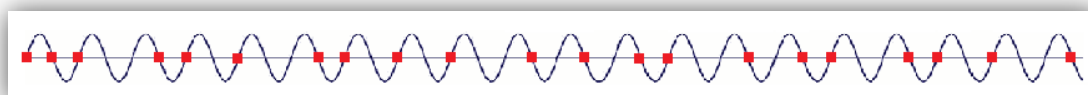



Figura 38 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (Tabela 15).

Tabela 16 – Exemplo da estrutura de uma resposta de acordo com o novo protocolo.

SEQUÊNCIA DE ENVIO 					
	PREÂMBULO	CODIGO CASA	CODIGO UNIDADE	CONFIRMAÇÃO	CHECKSUM
DESIGNAÇÃO	----	A	2	OK	----
BINÁRIO	----	0110	1110	0	010100
BITS A ENVIAR	1110	01101001	10101001	01	011001100101
CICLOS ONDA	2	4	4	1	6

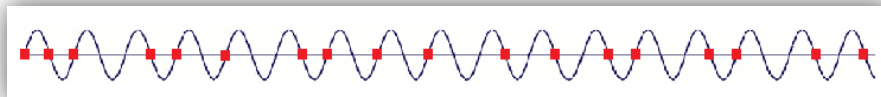


Figura 39 – Representação dos sinais injectados na rede eléctrica (Tabela 16).

Com esta reestruturação conseguem-se diferentes tempos de transmissão, relativamente ao X10. A nova mensagem é significativamente mais curta, contribuindo para uma actuação mais rápida dos dispositivos. São necessários apenas 20 ciclos de onda da rede eléctrica para enviar uma mensagem.

$$2 + 4 + 4 + 4 + 6 = 20 \text{ Ciclos de Onda} \quad (11)$$

$$20/50 = 0,40s \quad (12)$$

O tempo que demora entre o comando e a actuação não depende só do tempo de transmissão, é preciso ter em conta o tempo de processamento antes do envio da mensagem e depois da recepção da mesma. Depois deste processo, inicia-se a compilação da resposta. A resposta ocupa 17 ciclos de onda, sendo ainda mais curta que a mensagem.

$$2 + 4 + 4 + 1 + 6 = 17 \text{ Ciclos de Onda} \quad (13)$$

$$17/50 = 0,34s \quad (14)$$

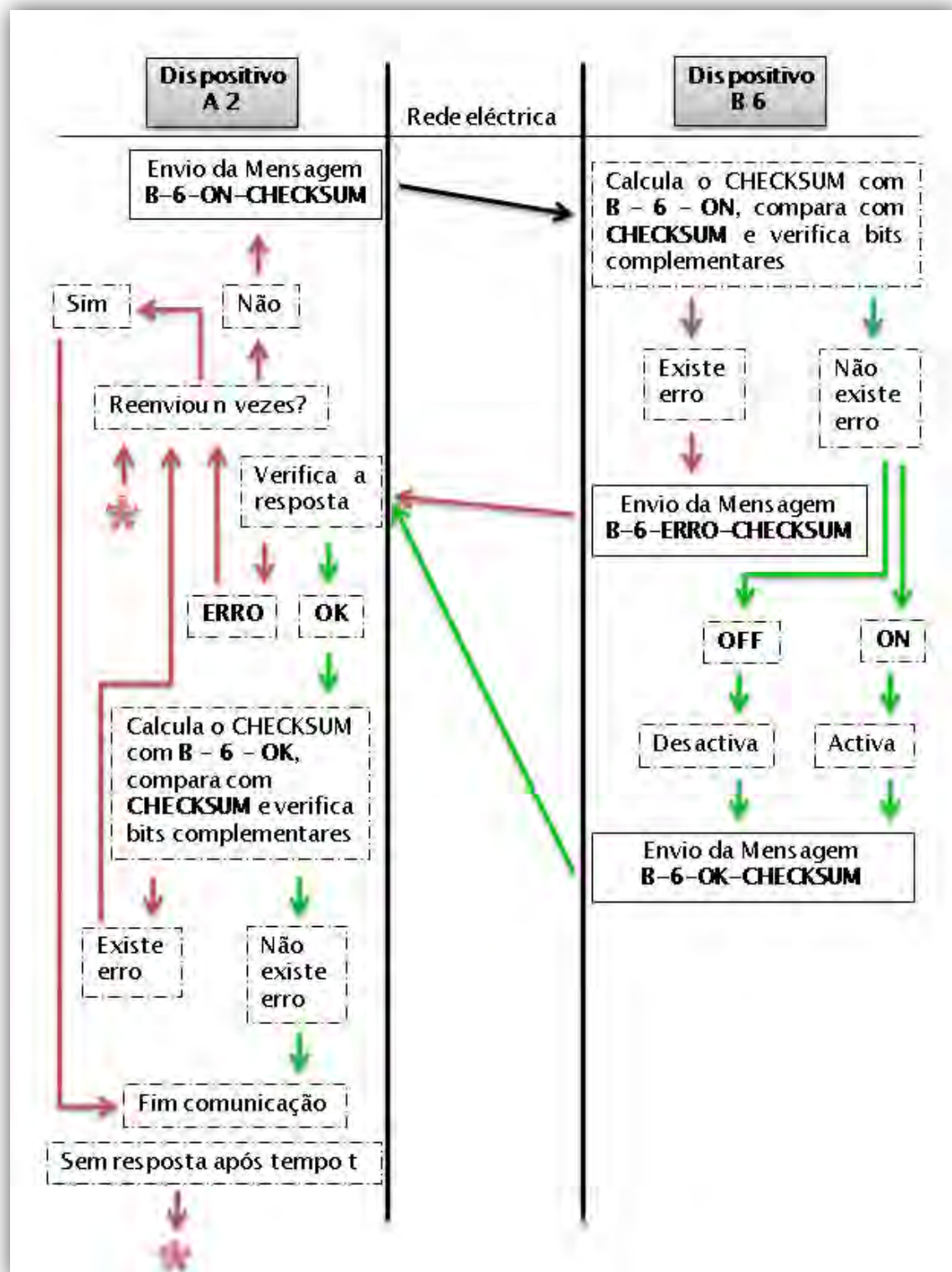
Uma comunicação completa, de acordo com o novo protocolo, demorará aproximadamente o mesmo tempo que uma comunicação X10. No entanto o tempo de actuação, segundo o novo protocolo, será cerca de metade. Relativamente ao novo protocolo, estes tempos poderão aumentar no caso de existirem erros de comunicação, contudo no protocolo X10, a ocorrência de erros de comunicação levará a uma falha no sistema.



As técnicas introduzidas no sistema, serão utilizadas como forma de reduzir as falhas reduzir as falhas provocadas pelos erros de comunicação. No caso de recepção de uma mensagem, de uma mensagem, na qual são detectados erros, é automaticamente gerada uma resposta com resposta com esta mesma indicação. O dispositivo que enviará a mensagem, ao receber a resposta, receber a resposta, efectuará uma nova tentativa, reenviando novamente a mensagem. Este mensagem. Este processo será repetido n vezes, de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos pré-estabelecidos no novo protocolo. Existirão outras situações em que serão efectuadas novas efectuadas novas tentativas de envio de mensagem, nomeadamente, na ausência de uma resposta de uma resposta dentro de um tempo (t) pré-estabelecido e na recepção de uma resposta, na qual resposta, na qual sejam detectados erros de comunicação. O

Diagrama 1 esquematiza o processamento destas técnicas.

Diagrama 1 – Comunicação entre dispositivos segundo o novo protocolo.



4 Implementação

Perante este novo protocolo de comunicação, será necessário o desenvolvimento de um *hardware* adequado, que permita a programação das novas regras e possua a capacidade de detecção dos 0V da tensão alternada da rede eléctrica, e a leitura e transmissão dos sinais de comunicação de alta frequência (120kHz). Com este propósito, foi realizada uma pesquisa de *hardware*, tendo por base trabalhos de investigação já realizados nesta área. Teve-se em conta a possibilidade da utilização de microcontroladores para a interpretação do novo protocolo, dadas as suas capacidades e o seu custo relativamente baixo. Foram encontradas e exploradas algumas soluções com um bom potencial para serem adoptadas neste trabalho.

Uma das soluções passaria pela aquisição de um “ASK modem” TR-2A de interface para as linhas eléctricas de 220V AC. De acordo com a informação disponível no site da IRIAVE Electronics, este *hardware* tem capacidade de disponibilizar saídas digitais, indicando o momento em que a tensão alternada passa pelo valor 0V e se nesse instante estão ou não presentes sinais de 120kHz (sinais X10). Tem também a capacidade de injectar sinais X10 na rede eléctrica, de acordo com comandos digitais externos, por exemplo, provenientes de um microcontrolador. Contudo esta solução foi descartada, pois contactado o fabricante deste modem, a informação recebida foi de que já não era produzido. [36]

Outra opção seria a utilização de uma interface X10, o TW523, utilizado pelos fabricantes de aparelhos electrónicos para desenvolvimento de produtos compatíveis com X10. O TW523 tem capacidade de detectar os 0V nas linhas de 220V AC e efectuar leitura ou “escrita” de sinais X10. O controlo do modem pode ser efectuado (digitalmente) com recurso a um microcontrolador. Esta não foi a solução escolhida, dadas as limitações do TW523 relativamente ao tamanho das mensagens X10 a enviar e à filtragem de sinal (ignora os sinais que não seguem alguns parâmetros do protocolo X10, nomeadamente o preâmbulo da mensagem e a sua dimensão). [37], [47]

Surgiu a hipótese de seguir os esquemas eléctricos de um projecto realizado por dois alunos de engenharia, Shabsi Walfish e Omar Badoolah, com orientação do Professor Stuart Kirtman. Este projecto, “X10 Receiver Project” concluído em 2009, tinha como objectivo a construção de um módulo X10 capaz de ler e interpretar comandos X10, enviados através de uma rede eléctrica de 110V AC. Os esquemas deste trabalho foram analisados na tentativa de lhes acrescentar a capacidade de transmissão de sinais X10, uma vez que só assim

seria possível usufruir deste trabalho. Esta não viria a ser a melhor opção dada sua complexidade quando comparada com outras opções. [38]

Foi estudada também a possibilidade de utilizar um módulo de aplicação X10 como interface para um microcontrolador. A ideia passaria por uma interacção entre o microcontrolador e o chip controlador do módulo de aplicação, nomeadamente na detecção dos zeros da tensão alternada, na recepção dos sinais 120kHz e na injeção dos mesmos. Contudo esta possibilidade também apresentava alguns obstáculos. O primeiro que surgiu foi a informação quase inexistente, relativamente ao chip controlador do módulo de aplicação. Numa tentativa de decifrar o funcionamento deste chip, foi feito um levantamento de informação experimental, com recurso à análise de sinais eléctricos por intermédio de um osciloscópio e com base em alguns esquemas eléctricos de módulos semelhantes ao módulo em questão (módulos de aplicação e de controlo de iluminação preparados para operar a 110V AC). Outro obstáculo seria o acoplamento do circuito do PIC ao circuito do chip, sem causar interferências no bom funcionamento do módulo X10.

A informação disponibilizada pela Microchip, sobre a construção de um dispositivo X10, revelou-se a melhor opção a seguir para este trabalho. No seu site, <http://www.microchip.com>, está disponível um exemplo de concepção de um dispositivo X10, dimensionado para operar sobre os 110V AC, utilizando um microcontrolador PIC16F877A. A nível de *hardware*, este exemplo contempla a detecção dos zeros da tensão alternada, a filtragem e injeção de sinais X10 na rede eléctrica e ainda a obtenção de uma tensão de alimentação (5V) para o PIC obtida directamente da rede. Por outro lado, será necessário realizar um dimensionamento para que este *hardware* possa operar sobre a rede eléctrica de 220V AC. [10]

4.1 Hardware

O *hardware* utilizado neste trabalho resume-se a dois computadores, cada um com um adaptador USB/RS232, e a dois módulos, em que cada um tem uma unidade de processamento integrada (microcontrolador) e capacidade de comunicação através da rede eléctrica e de uma ligação RS232.

A Figura 40 esquematiza as ligações entre o *hardware* utilizado neste trabalho.

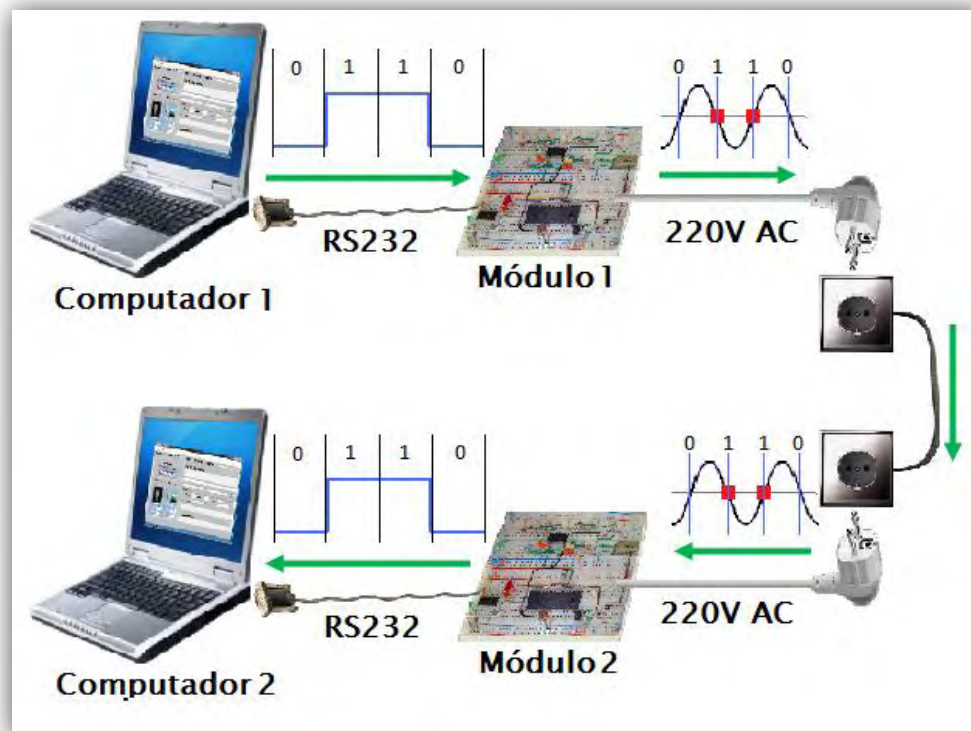


Figura 40 – Esquema de ligações do *hardware*.

4.1.1 Módulos desenvolvidos

O desenvolvimento dos módulos (Figura 41) utilizados neste trabalho foi baseado na AN236 da Microchip [10]. Dos esquemas eléctricos originais da Microchip, foram aproveitados os esquemas eléctricos referentes à detecção dos 0V da rede eléctrica, os esquemas eléctricos dos filtros e da injeção do sinal X10. Estes sofreram algumas alterações para o devido funcionamento sobre a tensão de 220V AC. Para além dos esquemas provenientes da AN236, foram adicionados esquemas referentes à comunicação RS232 e alguns componentes de interface com o utilizador, nomeadamente três LEDs (*Light Emitting Diodes*), o primeiro verde (indica que o módulo se encontra alimentado), o segundo vermelho (indica a ocorrência de uma transmissão) e o terceiro azul de alto brilho (simula uma lâmpada ligada ao módulo), e ainda dois botões, um branco (para envio de uma mensagem X10 padrão) e um preto (para envio de uma mensagem de acordo com o novo protocolo).

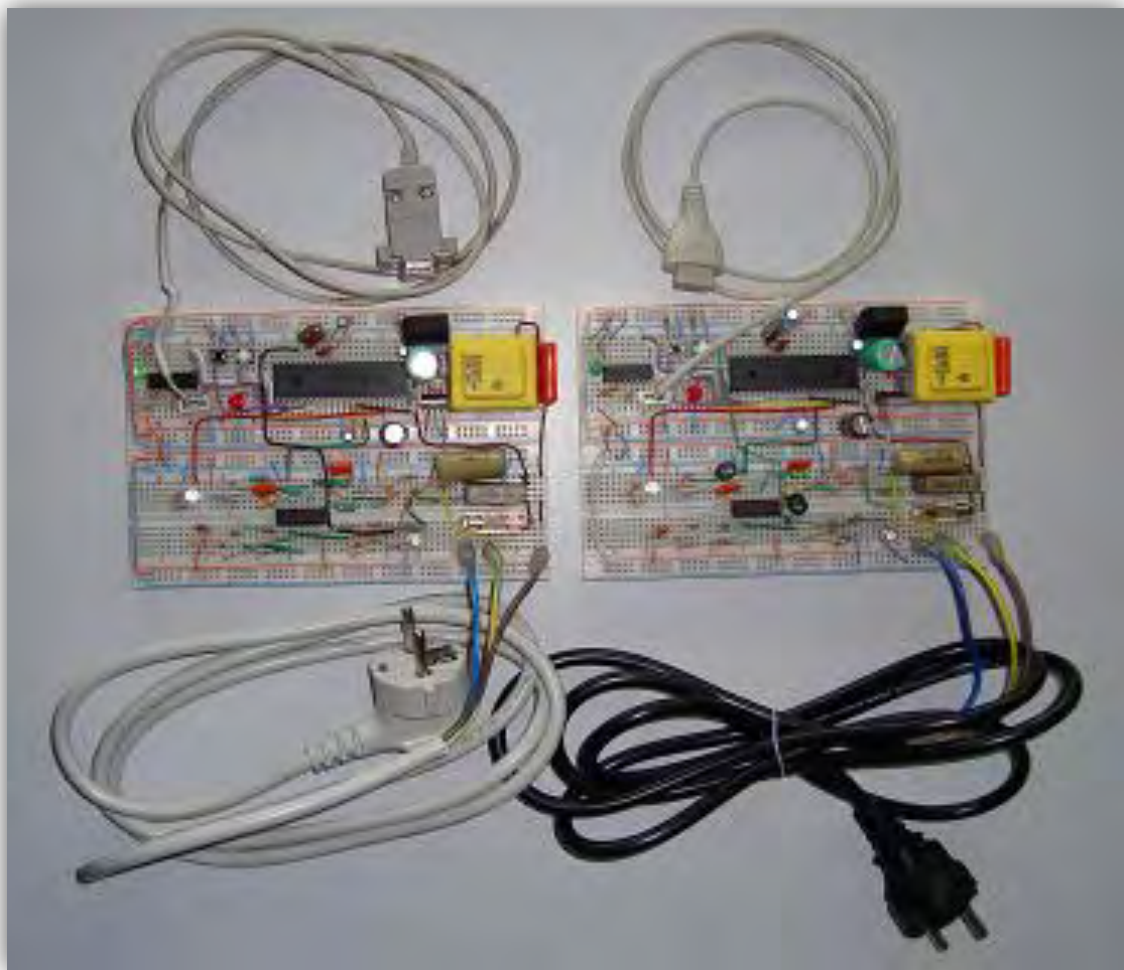


Figura 41 – Módulos desenvolvidos neste trabalho.

Optou-se pela utilização do PIC16F877 em alternativa ao PIC16F877A sugerido pela Microchip, uma vez que têm características muito semelhantes e dada à familiarização pessoal com este primeiro microcontrolador procedente de trabalhos realizados durante a frequência do curso de Engenharia Mecânica, nomeadamente na disciplina de Tecnologias de Accionamento e Comando (TAC).

A Figura 42 mostra um dos módulos desenvolvidos onde se encontram assinaladas as áreas de funcionamento. A área a vermelho indica a ligação à rede eléctrica e a área a azul a zona de transformação para a tensão de alimentação (de 220V AC para 5V DC) dos componentes da placa. A verde encontra-se assinalado o circuito responsável pela filtragem do sinal de 120kHz da rede eléctrica. A injeção de sinal é efectuada na área delineada pela cor laranja. Na área amarela encontram-se os componentes encarregues da comunicação RS232 e branca os botões para envio de mensagem.

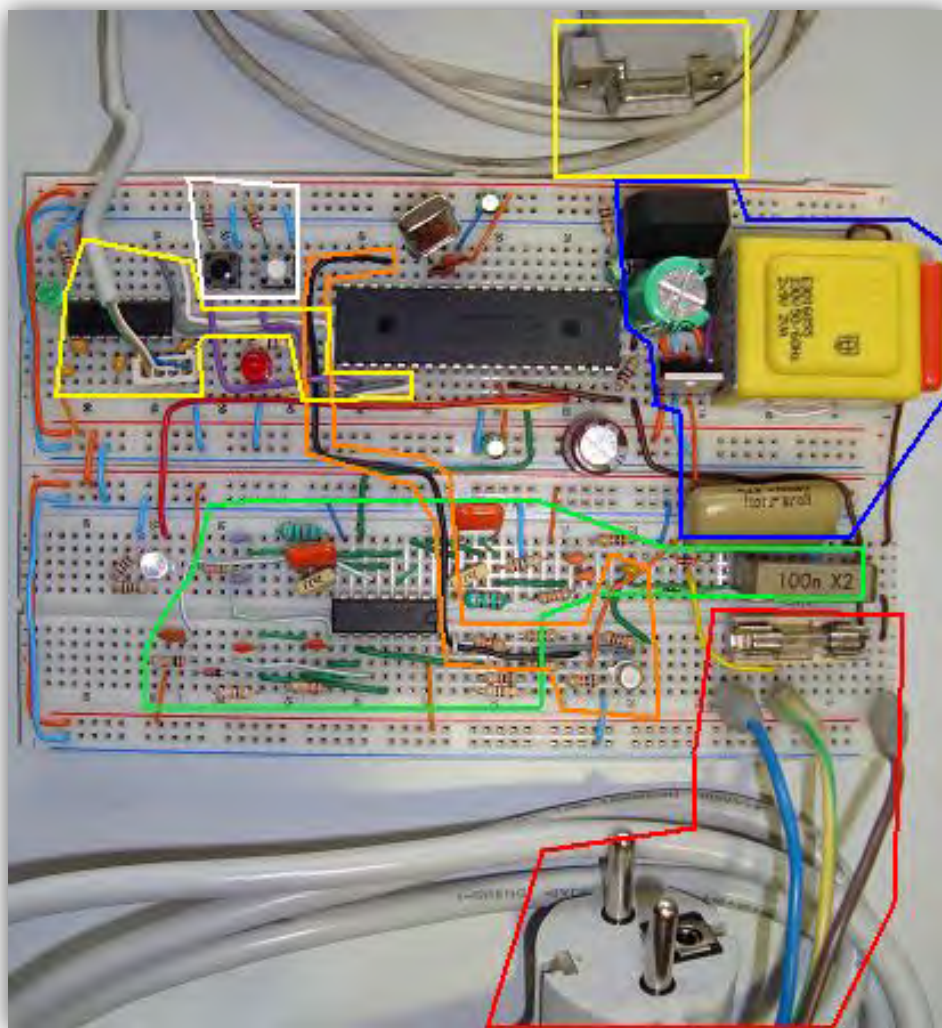


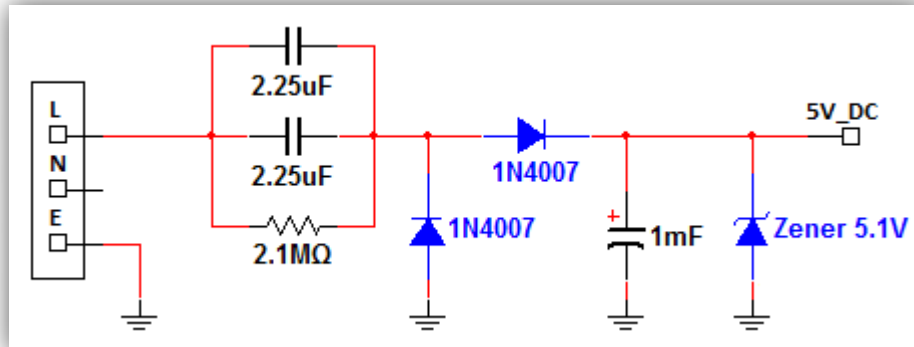
Figura 42 – Áreas de funcionamento do módulo desenvolvido.

O *hardware* dos módulos desenvolvidos pode ser dividido em cinco partes: a fonte de alimentação, a detecção dos zeros da tensão alternada, a filtragem dos sinais de alta frequência, injeção destes mesmos sinais e a comunicação série via RS232.

Fonte de Alimentação

Inicialmente foi feita a montagem de um circuito de transformação de 220V AC para 5V DC, com fins de alimentação para alguns componentes do módulo, conforme o sugerido na AN236 [10]. Este circuito (Esquema Eléctrico 1) representa um transformador capacitivo, o que o torna bastante compacto e eficiente. Tem a desvantagem de ser um pouco mais dispendioso que um

transformador resistivo, mesmo assim mantendo o baixo custo. Existe também o inconveniente deste transformador não isolar o circuito da rede eléctrica, tornando-o pouco seguro.



Esquema Eléctrico 1 – Transformador baseado na informação da AN236.

Neste esquema procedeu-se à alteração do valor original da resistência de 1,1MΩ para 2,1MΩ, de forma a manter o mesmo valor de corrente para o funcionamento em 220V AC. O valor seleccionado para a resistência é justificado pelas seguintes equações, onde V_p refere-se ao valor da amplitude da onda da tensão alternada da rede, V_{rms} ao valor eficaz, I_R ao valor da corrente eléctrica na resistência e R ao próprio valor da resistência [10]:

$$V_p = \sqrt{2}V_{rms} \quad (15)$$

$$I_R = V_p/R \quad (16)$$

Substituindo a equação 15 na 16, obtém-se [10]:

$$I_R = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{R} \quad (17)$$

Para as condições de referência dos esquemas da AN236 ($V_{rms}=120V$ e $R=1,1M\Omega$), resultam os seguintes valores:

$$I_R = \frac{\sqrt{2} \times 120}{1,1 \times 10^6} \cong 0,15mA \quad (17.1)$$

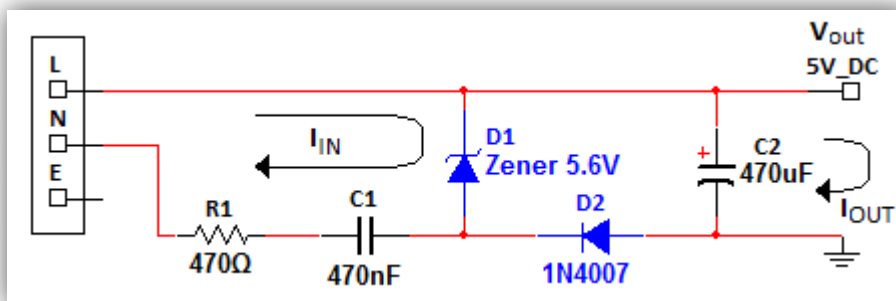
Para manter o valor da corrente na resistência, com $V_{rms}=220V$, vem que [10]:

$$R = \frac{\sqrt{2}V_{rms}}{I_R} \quad (18)$$

$$R = \frac{\sqrt{2} \times 220}{0,15 \times 10^{-3}} \cong 2,1M\Omega \quad (18.1)$$

Ao ser testado, este circuito revelou um pico de corrente inicial indesejado, o qual danificara o díodo de zener. Esta questão poderia ser ultrapassada com recurso a um zener com capacidade para suportar valores de corrente superiores, contudo, poderia vir a ser um problema para os futuros componentes do módulo.

No sentido de resolver o problema foi estudada outra possibilidade para o mesmo fim, nomeadamente outra configuração para um circuito transformador capacitivo (Esquema Eléctrico 2), sugerido na AN954 (*Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive*) da Microchip. [39]



Esquema Eléctrico 2 – Transformador baseado na informação da AN954.

Seguidamente é apresentado o dimensionamento de todas as componentes e parâmetros do Esquema Eléctrico 2, de acordo com a informação da AN954 [39]:

Díodo de Zener (D1)

O valor do Zener D1 é 5,6V de modo a compensar a queda de tensão do díodo D2 de 0,7V ($V_{out} = 5,6 - 0,7 = 4,9V$ (19)).



Corrente (I_{IN})

A corrente I_{IN} corresponde à corrente que o transformador é capaz de solicitar à rede eléctrica.

I_{IN} – Corrente

V_{rms} – Tensão eficaz (230V)

V_Z – Queda de tensão do Zener D1 (5,6V)

f – Frequência da tensão alternada (50Hz)

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2}V_{rms} - V_Z}{2\left(\frac{1}{2\pi f C_1} + R_1\right)} \quad (20)$$

$$I_{IN} = \frac{\sqrt{2} \times 230 - 5,6}{2\left(\frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 470 \times 10^{-9}} + 470\right)} \cong 0,022A \quad (20.1)$$

Assim sendo:

$$I_{IN} \geq I_{OUT} \quad (21) \qquad I_{OUT} \leq 0,022A \quad (21.1)$$

A corrente I_{OUT} diz respeito à corrente que os circuitos alimentados pelo transformador podem requisitar.

Potência (R_1)

$$P = RI_{R_1}^2 = R(V_{rms} 2\pi f C)^2 \quad (22)$$

Considerando o valor superior da resistência para uma tolerância de 10%:

$$R = R_1 \times 1,1 \quad (23)$$



$$P = (470 \times 1,1) \times (230 \times 2 \times \pi \times 50 \times 470 \times 10^{-9})^2 = 0,596W \quad (22.1)$$

Tendo em conta um coeficiente de segurança (C_s):

$$P_{R_1} = PC_s = P \times 2 \quad (24)$$

$$P_{R_1} = 0,596 \times 2 = 1,192W \approx 2W \quad (24.1)$$

O valor da potência foi aproximado para um valor padronizado (2W).

Condensador (C1)

Por motivos de segurança do condensador, a tensão (V_{C1}) suportada pelo mesmo foi calculada da seguinte forma:

$$V_{C1} = V_{rms} C_s \quad (25)$$

$$V_{C1} = 230 \times 2 = 460V \approx 400V \quad (25.1)$$

O valor da tensão suportada pelo condensador C1 foi aproximado para um valor padronizado (400V).

Díodo de Zener (D1)

O zener D1 deverá ser capaz de dissipar a seguinte potência:

$$P = V_Z I = V_Z (V_{RMS} 2\pi f C) \quad (26)$$

$$P = 5,6 \times (230 \times 2 \times \pi \times 50 \times 470 \times 10^{-9}) = 0,190W \quad (26.1)$$

Aplicando um C_s igual a 2:

$$P_{D_1} = PC_s = P \times 2 \quad (27)$$

$$P_{D_1} = 0,190 \times 2 = 0,380W \approx 0,5W \quad (27.1)$$

O valor de P_{D_1} foi aproximado a um valor padronizado (0,5W).

Díodo (D2)

O díodo D2 deverá ser capaz de dissipar a seguinte potência:

$$P_{D2} = I_{IN} V_{D_2} \quad (28)$$

$$P_{D2} = 0,022 \times 0,7 = 0,0154W \approx 0,125W \quad (28.1)$$

O valor obtido foi aproximado a um valor padronizado (0,125W), não se justificando a aplicação de um coeficiente de segurança, visto que, o valor padronizado é mais de 8 vezes superior ao valor calculado.

Condensador (C2)

Para o condensador C2, foi utilizado um C_s de 2 para o cálculo da tensão suportada pelo mesmo:

$$V_{C_2} = V_{D_1} C_s = V_{D_1} \times 2 \quad (29)$$

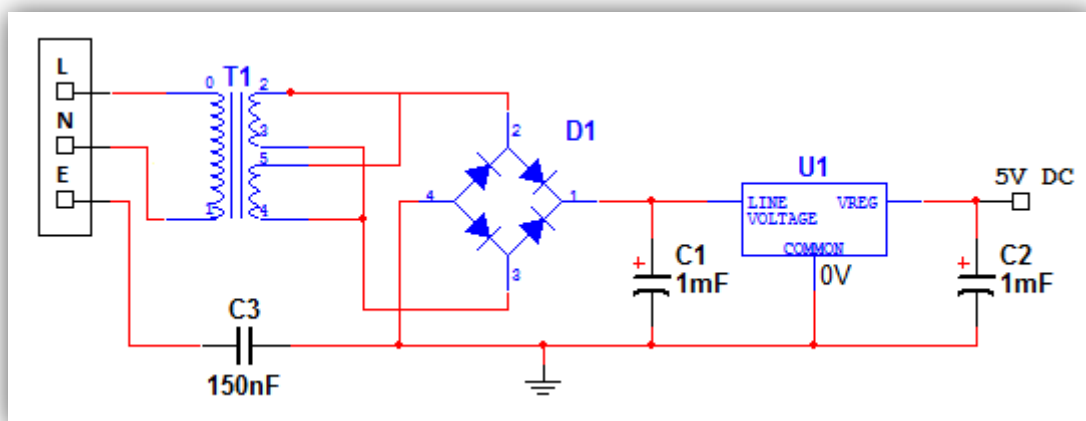
$$V_{C_2} = 5,6 \times 2 = 11,2V \approx 16V \quad (29.1)$$

O valor da tensão calculada foi aproximado para um valor padronizado (16V).

Este transformador teve sucesso a nível de tensão de saída, tendo em conta o seu dimensionamento. Contudo, revelou-se incompatível com as restantes partes constituintes do módulo, devido à sua limitação de corrente (22mA). Posteriormente ao desenvolvimento da fonte de alimentação, foram realizados os circuitos para as outras partes do módulo. Para uma medição do consumo de corrente destas partes, foi utilizado um transformador da Motorola

(carregador de bateria para telemóveis, transformando os 220V AC em 5V DC) como fonte de alimentação. Verificou-se que o consumo real do módulo superou o previsto, impossibilitando a utilização do circuito baseado na AN954 limitado a 22mA.

Para ultrapassar a questão da fonte de alimentação, projectou-se um transformador de 220V AC para 5V DC, de forma a suportar a requisição de corrente do circuito, deixando ainda uma boa “margem de manobra” para trabalhos futuros. Como medida de segurança, foi também introduzida uma forma de isolar o circuito de baixa tensão, da tensão alternada da rede eléctrica.



Esquema Eléctrico 3 – Circuito projectado para a fonte de alimentação.

O Esquema Eléctrico 3 representa o circuito projectado para a fonte de alimentação. O isolamento galvânico da rede eléctrica é proporcionado por um transformador (T1) de 3 enrolamentos (1 primário e 2 secundários). Para uma ligação do enrolamento primário aos 220V AC, cada enrolamento secundário disponibiliza uma tensão de 9V AC aos seus terminais e tem capacidade para suportar uma corrente de 111mA. De forma a tirar partido do valor máximo de corrente à saída do transformador, os enrolamentos secundários foram ligados em paralelo, atingindo assim uma capacidade de corrente de 222mA (mantendo-se os 9V AC aos terminais do secundário).

Foi utilizada uma ponte rectificadora de 4 díodos (D1) e um condensador (C1) para transformar a tensão de 9V AC em cerca de 12,7V DC:

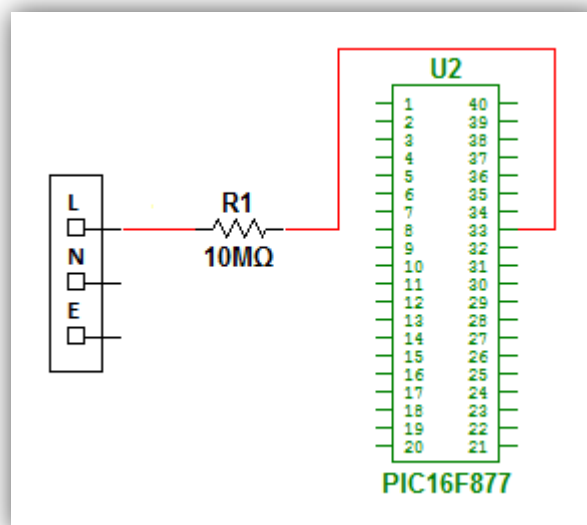
$$V_p = \sqrt{2}V_{rms} \quad (30)$$

$$V_p = \sqrt{2} \times 9 \cong 12,7V \quad (30.1)$$

Seguidamente, recorrendo a um regulador de tensão, foi possível passar de 12,7V DC para os 5V DC necessário à alimentação do circuito. A participação do condensador C2 contribui para a estabilidade da tensão de alimentação. Já a colocação do condensador C3 tem por objectivo “trazer” a tensão 0V de referência do circuito para os 0V absolutos (terra), mantendo o isolamento no que diz respeito à passagem de corrente. O condensador C3 revelou-se essencial para o bom funcionamento do módulo, pois a sua ausência provoca um funcionamento deficiente da parte respeitante à filtragem do sinal de alta frequência recebido pelo módulo.

Detecção de Zeros

Na detecção de zeros, em conformidade com a AN236, recorreu-se apenas a uma resistência de valor elevado para fazer a ligação entre a rede eléctrica e o microcontrolador (Esquema Eléctrico 4).



Esquema Eléctrico 4 – Detecção dos 0V da tensão alternada da rede eléctrica.

O dimensionamento da resistência R1 presente no esquema foi feito da seguinte forma:

Considerando que para os esquemas da AN236 o $V_{rms} = 120V$ e a $R1 = 5M\Omega$

$$I_{R1} = \frac{V_{rms}}{R1} \quad (31)$$

$$I_{R1} = \frac{120}{5 \times 10^6} = 24 \mu A \quad (31.1)$$

Logo para $V_{rms} = 220V$ e $I_{R1} = 24 \mu A$ obtém-se:

$$R1 = \frac{V_{rms}}{I_{R1}} \quad (32)$$

$$R1 = \frac{220}{24 \times 10^{-6}} = 9,2 M\Omega \approx 10 M\Omega \quad (32.1)$$

O valor da resistência R1 foi aproximado para um valor padronizado ($10 M\Omega$). É de salientar que a corrente real que passa pela resistência é diminuta, pois as portas do microcontrolador possuem uma impedância interna muito elevada. Por outro lado, os seus pinos (PORTA e PORTB) são capazes de suportar correntes até 200mA, quer estes estejam configurados como entradas ou saídas.

Esta configuração permite ao microcontrolador gerar eventos (interrupções no programa principal) quando se dá uma mudança de estado do valor lógico no pino 33 (RB0/INT). Desta forma é possível detectar os 0V da tensão alternada da rede eléctrica, sendo necessário configurar a ocorrência de eventos (Figura 43), para a mudança de estado de “0” para “1” (fase ascendente da tensão alternada) ou vice-versa, para a mudança de estado de “1” para “0” (fase descendente da tensão alternada).

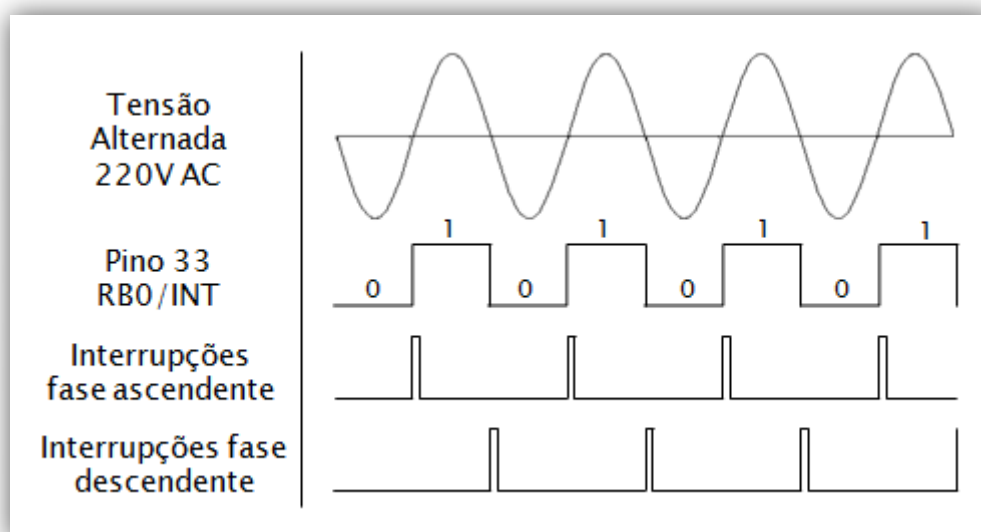


Figura 43 – Interrupções externas geradas no pino RB0/INT.

Filtragem do Sinal

A leitura dos sinais utilizados na comunicação entre módulos é efectuada com recurso a filtros passa-alto, filtros passa-banda e circuitos amplificadores de sinal (Esquema Eléctrico 5). Numa primeira fase, o circuito de filtragem é acoplado à rede eléctrica por intermédio de uma resistência elevada (R9) que limita a passagem de corrente e por um condensador (C11) cuja função é permitir a passagem do sinal de alta frequência. Este condensador apresenta uma elevada impedância (Z_{C11}) para a tensão alternada da rede de frequência (f) igual a 50Hz:

$$Z_{C11} = \frac{1}{2\pi f C_{C11}} \quad (33)$$

$$Z_{C11} = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 100 \times 10^{-9}} \cong 32k\Omega \quad (33.1)$$

Por outro lado, a impedância (Z_{C11}) é reduzida quando se trata do sinal de 120kHz (f=120kHz):

$$Z_{C11} = \frac{1}{2 \times \pi \times 120 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-9}} \cong 13\Omega \quad (33.2)$$

No seguimento do acoplamento, encontram-se dois díodos de zener (D2 e D3) responsáveis por manter os valores da tensão à entrada do filtro entre 6,8V positivos e 6,8V negativos.

Dando continuidade ao percurso do sinal recebido, após a passagem pela resistência R7 (limitadora de corrente), o filtro passa-alto formado pelo condensador C10 e pela resistência R6 é o responsável pela atenuação de sinais AC com frequências inferiores à frequência de corte (f_c):

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{R6} C_{C10}} \quad (34)$$

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times 33 \times 10^3 \times 150 \times 10^{-12}} \cong 32kHz \quad (34.1)$$

Ao filtro anteriormente referido, sucede-se um condensador (C9) que surge como mais uma barreira (impedância elevada) para sinais de baixa frequência.

A passagem pelo filtro passa-banda é o próximo passo no tratamento do sinal. Esta parte do circuito composta pelas componentes R1, R2, C1, C2, C3, C4, L1, L2, U1A e U2B, representadas no Esquema Eléctrico 1, tem por função restringir a passagem de sinais AC com frequências que se incluam dentro de uma dada gama de valores. Neste caso em concreto, a gama situa-se aproximadamente entre 111kHz e 130kHz. Adicionalmente este filtro também contempla dois estágios de amplificação do sinal AC de alta frequência através dos inversores (U1A e U2B), configurados como amplificadores de alto ganho.

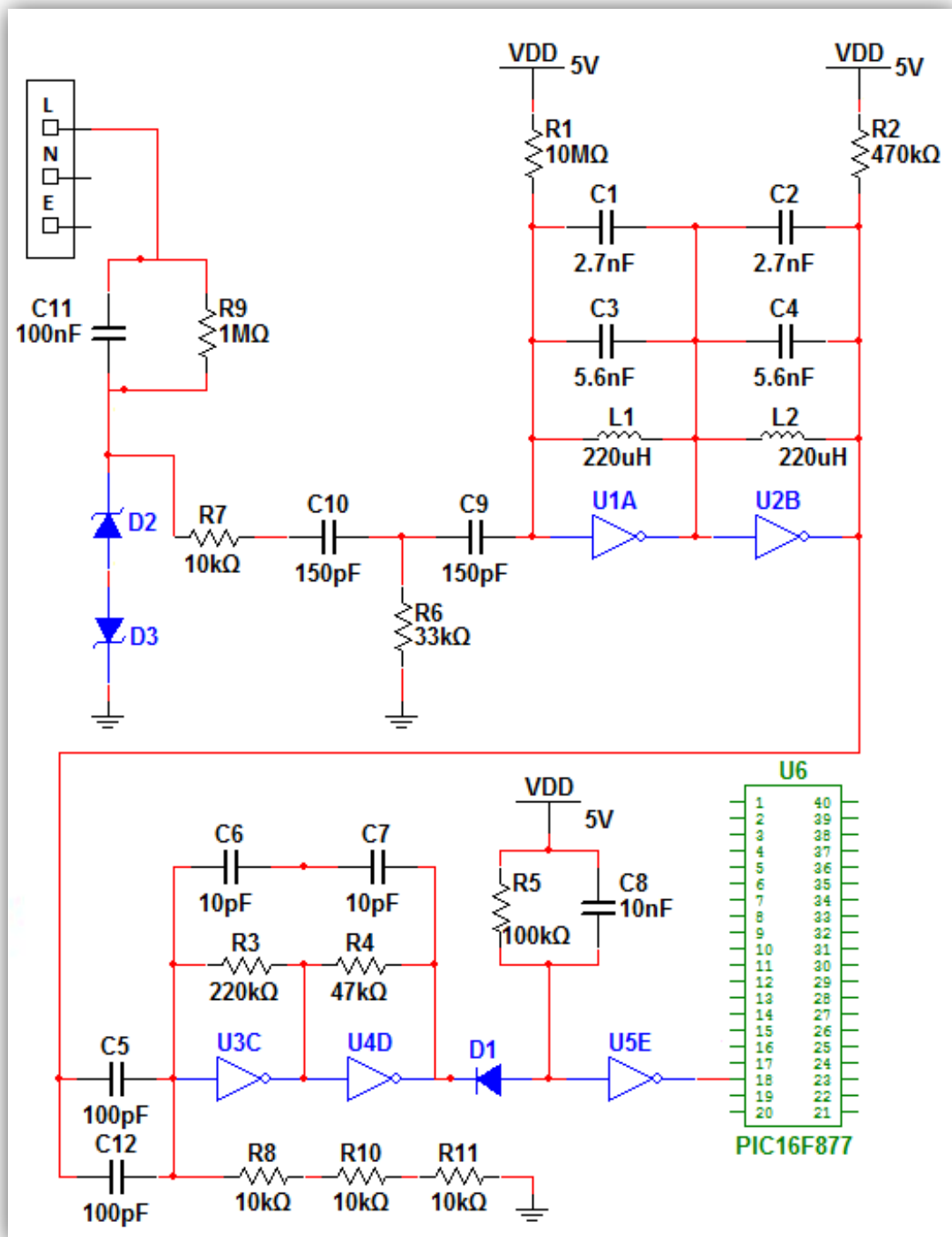
À saída do filtro passa-banda, existe novamente uma barreira para sinais de baixa frequências, formada pelos condensadores C5 e C12.

Após a filtragem e amplificação da gama de sinal desejada, segue-se uma amplificação adicional, também composta por 2 estágios, onde participam os componentes C6, C7, R3, R4, U3C e U4D.

Por fim, o sinal AC resultante é rectificado no díodo D1, de forma a ser eliminada a sua componente positiva. A resistência R5, o condensador C8 e o *inverter* U5E, fazem parte de um detector da presença de sinal, que reage à componente negativa do sinal previamente tratado. A tensão à entrada do inversor U5E é retida a 5V DC, caindo e mantendo-se a 0V na comparência do sinal de alta frequência. À saída do inversor U5E a tensão encontra-se invertida relativamente à entrada, pelo que, na ausência de sinal de alta frequência a tensão à saída situa-se nos 0V, e aquando da presença do mesmo, a tensão eleva-se a 5V DC. A leitura desta tensão é efectuada no pino 34 (RB1) do microcontrolador.

Esta parte (Esquema Eléctrico 5) também foi alvo de algumas alterações, relativamente ao circuito original da Microchip. Foram alterados: os valores dos condensadores C1 e C2 de 3,3nF para 2,4nF; os valores dos condensadores C3 e C4 de 4,7nF para 5,6nF. Esta alteração contribuiu para um reajuste da gama de frequências filtradas (no filtro passa-banda), obtendo-se valores testados experimentalmente entre 111kHz e 130kHz.

Foram ainda adicionadas as resistências R8, R10 e R11, e o condensador C12. O condensador C12 foi montado em paralelo com o condensador C5, de forma a aumentar a capacidade equivalente (soma da capacidade de C12 com C5), que por sua vez causa uma diminuição na impedância dos sinais que os atravessam. Desta forma o sinal à saída dos condensadores, sofre um aumento de amplitude relativamente à configuração original desta parte do circuito.

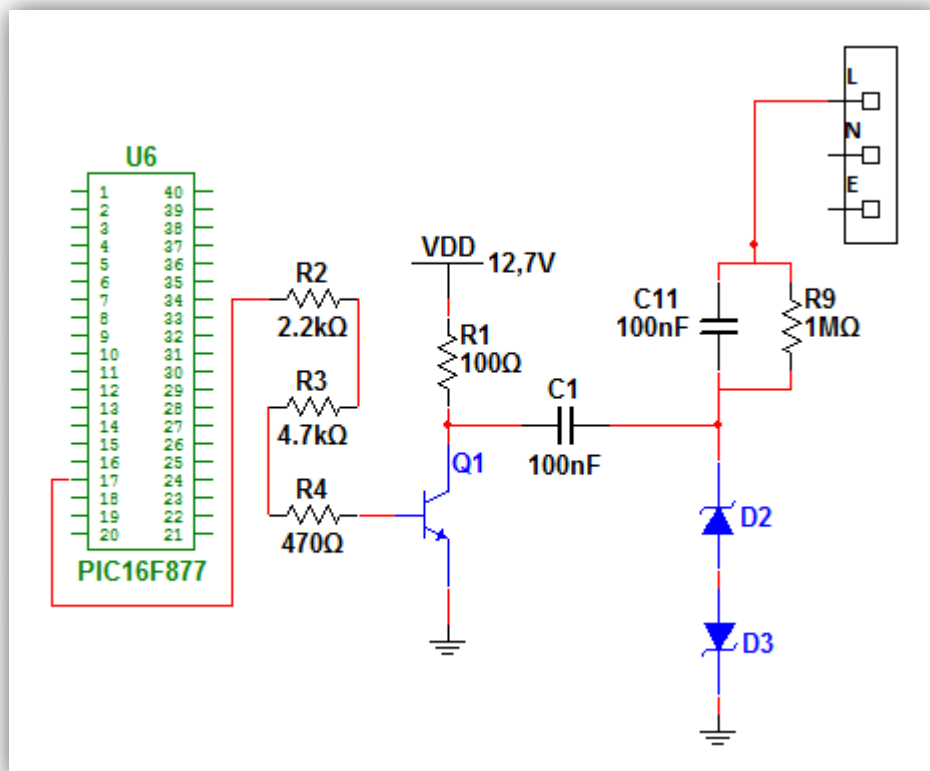


Esquema Eléctrico 5 – Filtro de sinal de alta frequência (120kHz).

Injecção do Sinal

A transmissão de uma mensagem consiste na injeção de sinais AC de 120kHz na rede eléctrica, de acordo com a informação a enviar.

O processo de transmissão do bit “1” inicia-se com a configuração do pino 17 (RC2/CCP1) como porta de saída (Esquema Eléctrico 6). Esta porta tem a capacidade de gerar um sinal com Modelação por Largura de Pulso (MLP), mais conhecida pela sigla em inglês PWM (Pulse Width Modulation). Neste caso, a modulação é efectuada a uma frequência de 120kHz e com um *duty cycle* de 50%. O sinal resultante controla o transístor de alta frequência Q1, fazendo com que este varie o seu estado de funcionamento entre o corte e a saturação. Esta acção gera uma oscilação no colector do transístor com amplitude de 12,7V, que por sua vez se encontra conectado ao circuito de acoplamento à rede eléctrica, comum ao circuito eléctrico que trata da filtragem do sinal.



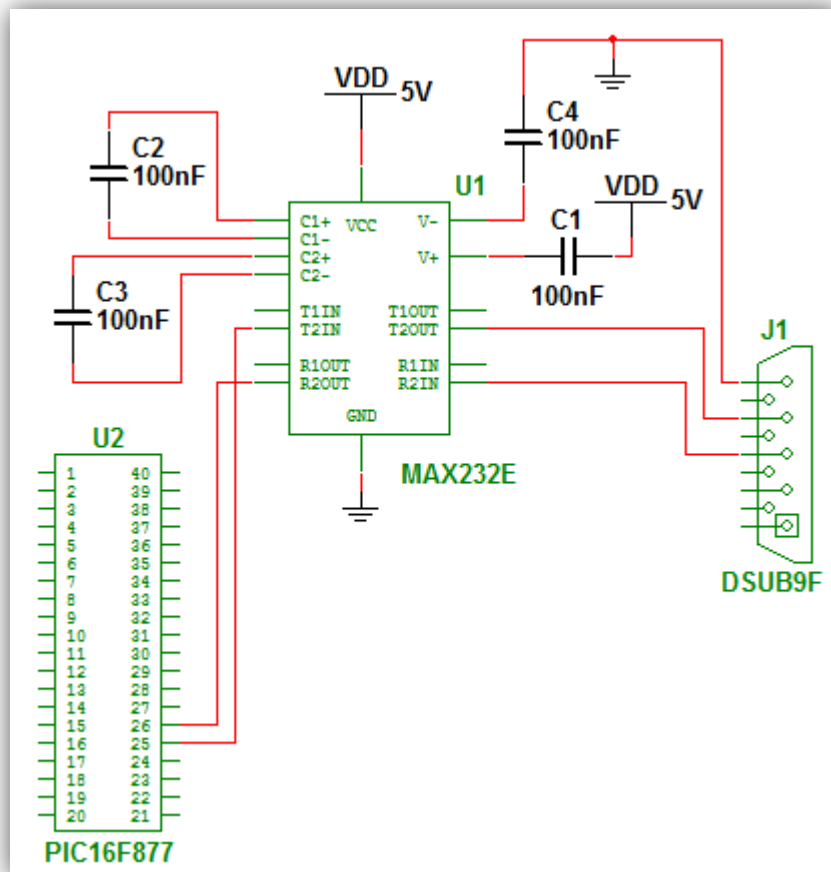
Esquema Eléctrico 6 – Injecção do sinal de 120kHz.

Comunicação Série RS232

Foi introduzido no módulo uma interface R232 para comunicação com um computador. Para tal, recorreu-se à utilização de um transdutor MAX232 da Texas Instruments.

Nos esquemas da AN236 os pinos 25 (RC6/TX/CK) e 26 (RC7/RX/DT) encontram-se livres para uma possível ligação série com outro dispositivo, situação que se verificou neste caso.

Esta solução veio facilitar o trabalho de investigação, uma vez que permite a troca de informação entre o módulo e o computador, possibilitando uma monitorização mais detalhada da informação transmitida e a determinação de tempos de transmissão.



Esquema Elétrico 7 – Interface RS232.

Aspectos Gerais do *Hardware*

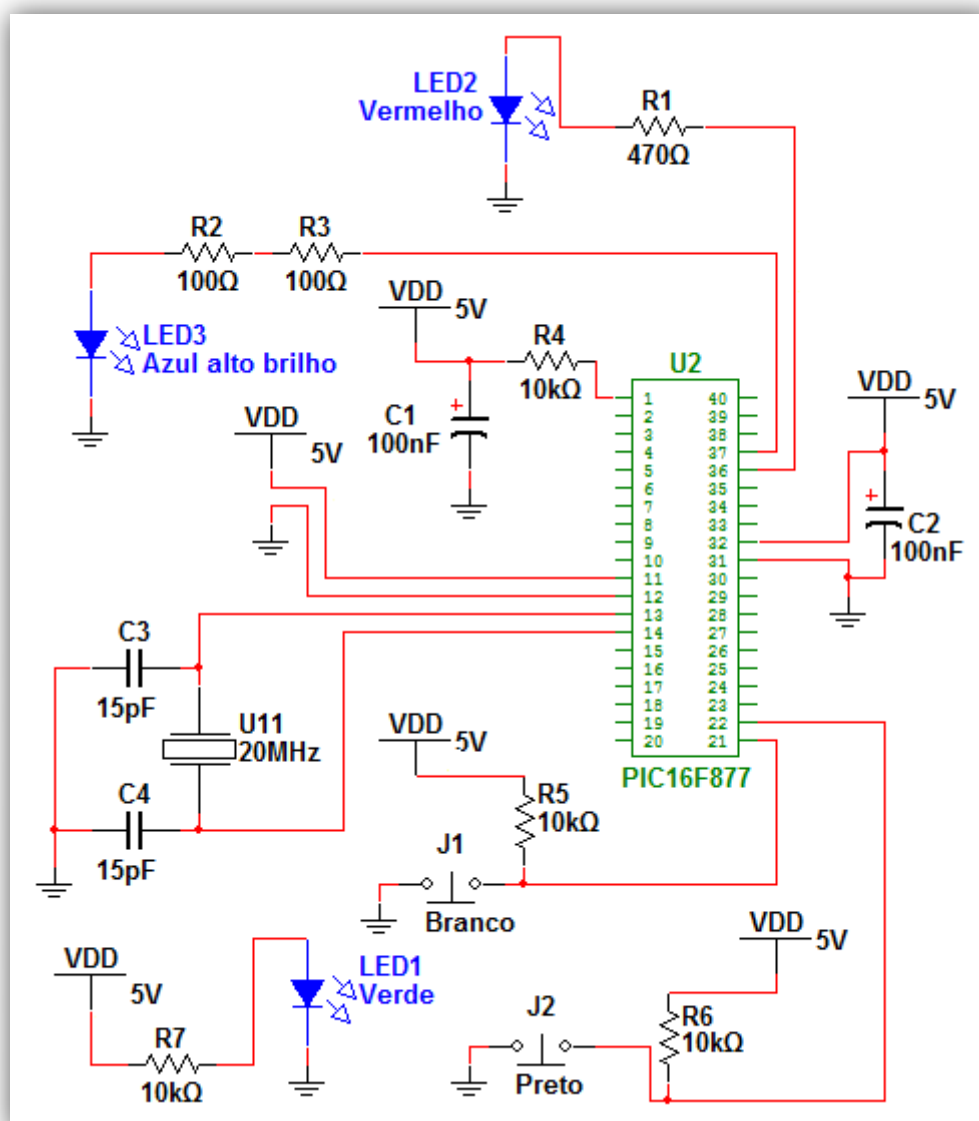
Nos módulos foram acrescentados 3 díodos emissores de luz, também conhecidos por LEDs (light emitting diodes). Recorreu-se a um LED verde para indicar se o módulo se encontra alimentado pelo transformador de 220V AC para 5V DC. Um segundo LED, vermelho, foi utilizado para indicar a ocorrência de uma transmissão para a rede eléctrica. O terceiro e último, foi um LED azul de alto brilho que foi aproveitado para simular uma lâmpada associada ao módulo.

Com o objectivo de atribuir alguma autonomia aos módulos, foi acrescentado a cada um deles 2 botões (um preto e um branco). O branco acciona o envio de uma mensagem de acordo com o protocolo X10 padrão, enquanto que o preto acciona o envio de uma mensagem de acordo com o novo protocolo. Desta forma cada módulo terá a capacidade de enviar um comando mesmo que não se encontre ligado à unidade de processamento de dados (o computador). A cada clique no botão, a mensagem enviada varia entre o comando ON e o comando OFF.

Escolheu-se a velocidade máxima de processamento suportada pelo PIC16F877, ao seleccionar um cristal oscilador de 20MHz. Visto que, tanto o protocolo X10 padrão como o novo protocolo visam o sincronismo com os 0V da tensão alternada da rede eléctrica, que por sua vez ocorrem com uma frequência de 100Hz (cada ciclo de onda passa duas vezes pelo valor 0V, ou seja, os 0V têm o dobro da frequência da onda de 50Hz), ter o microcontrolador a processar dados a uma frequência muito superior torna-se vantajoso. Desta forma é possível executar cerca de 50 000 ciclos de processamento (o tempo de ciclo é de 200ns) entre cada 0V da rede (o tempo entre os 0V é de 10ms).

Para manter o PIC16F877 em modo de funcionamento, o pino 1 (MCLR/V_{PP}) é elevado e mantido a uma tensão de 5V. Esta tensão (5V DC) é também a tensão de alimentação do PIC, sendo necessário colocar os pinos 11 e 32 (interligados internamente, V_{DD}) com uma diferença de potência de 5V positivos relativamente aos pinos 12 e 31 (interligados internamente, V_{SS}).

Os aspectos gerais do *hardware* descritos nos parágrafos anteriores, encontram-se representados no Esquema Eléctrico 8.



Esquema Eléctrico 8 – Aspectos gerais do *hardware*.

No Anexo 2 encontra-se o esquema eléctrico completo relativo aos módulos desenvolvidos.

4.2 Software

Neste trabalho optou-se por aplicar os conceitos do protocolo X10 padrão e do novo protocolo através de um *software* a ser executado num computador. Por sua vez, este último comunica via RS232 com um módulo ligado à rede eléctrica. Pretende-se assim, fazer o processamento de dados no computador e

criar uma interface gráfica de controlo e monitorização, de maneira a poder tirar partido de uma versatilidade que o microcontrolador não consegue oferecer.

Os módulos criados deveram desempenhar funções de interface para a rede eléctrica, fazendo chegar ao computador a informação que circula na rede eléctrica e enviando para esta a informação proveniente do computador.

Utilizou-se o Microsoft Visual Basic 2008 no desenvolvimento do *software* para o computador. No caso do microcontrolador, recorreu-se ao *assembler* MPLAB IDE v8.20 da Microchip, para efectuar a programação em linguagem *assembly*.

4.2.1 Programa do Microcontrolador

O programa desenvolvido para o PIC baseia-se fundamentalmente na geração de interrupções do programa principal, por detecção dos 0V nos 220V AC. Visto que esta detecção dos 0V tem de ser configurada para ocorrer na fase ascendente ou descendente da tensão alternada, optou-se por reconfigurar essa mesma detecção a cada cruzamento com os 0V, alternando assim entre as fases. Desta forma, é possível detectar todos os 0V da rede eléctrica. A cada interrupção o programa executa determinada acção.

Outro tipo de interrupções previstas, são as geradas pela recepção de dados via RS232, de modo a proporcionar o tratamento de dados provenientes do computador.

No programa principal, à parte das interrupções, é verificado continuamente o estado de cada um dos 2 botões de envio de mensagem.

A programação do microcontrolador [60] pode ser dividida em duas partes: a leitura e injeção de sinais X10 na rede eléctrica.

4.2.1.1 Leitura de Sinais da Rede Eléctrica

O PIC16F877 foi programado para entrar no modo de leitura assim que arranca. Este modo envia continuamente para o computador a informação presente na rede eléctrica, a cada 0V da tensão alternada (100bps). Quando é gerada uma interrupção no programa principal, proveniente da detecção de um 0V na tensão da rede (mudança de estado no pino RB0/INT, Esquema Eléctrico 4), é verificado de imediato se o estado da porta que comunica com o circuito de filtragem de sinal (pino 18, Esquema Eléctrico 5) é “1” ou “0”. Esta verificação tem

a duração de 1ms, sendo interrompida se for aplicada uma tensão no pino 18, alterando assim o valor lógico da porta para “1”, indicando a presença de sinal. Concluída a verificação da porta que acede à filtragem de sinal, consoante o resultado “1” ou “0”, é enviado pela porta de comunicação série o caractere “1” ou “0” respectivamente. Para finalizar o processo, verifica-se a configuração da fase (ascendente ou descendente) que provocou a interrupção e altera-se para a oposta. Seguidamente a interrupção é terminada, dando continuidade ao programa principal. Na detecção do próximo 0V, o processo é repetido.

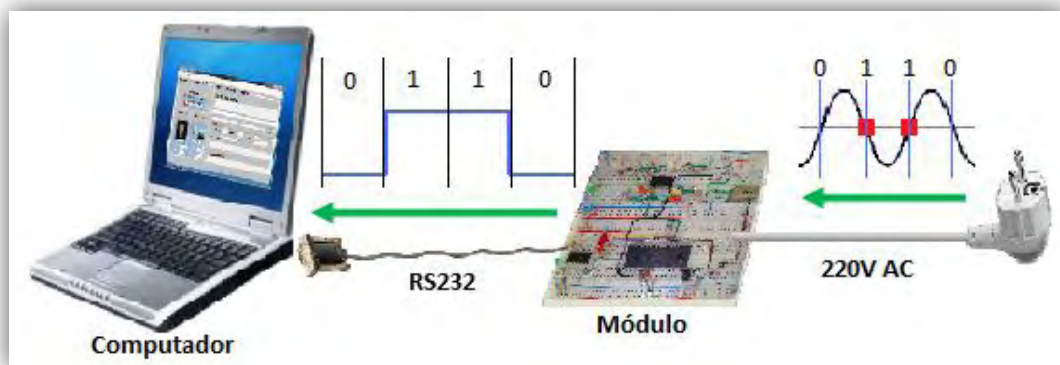
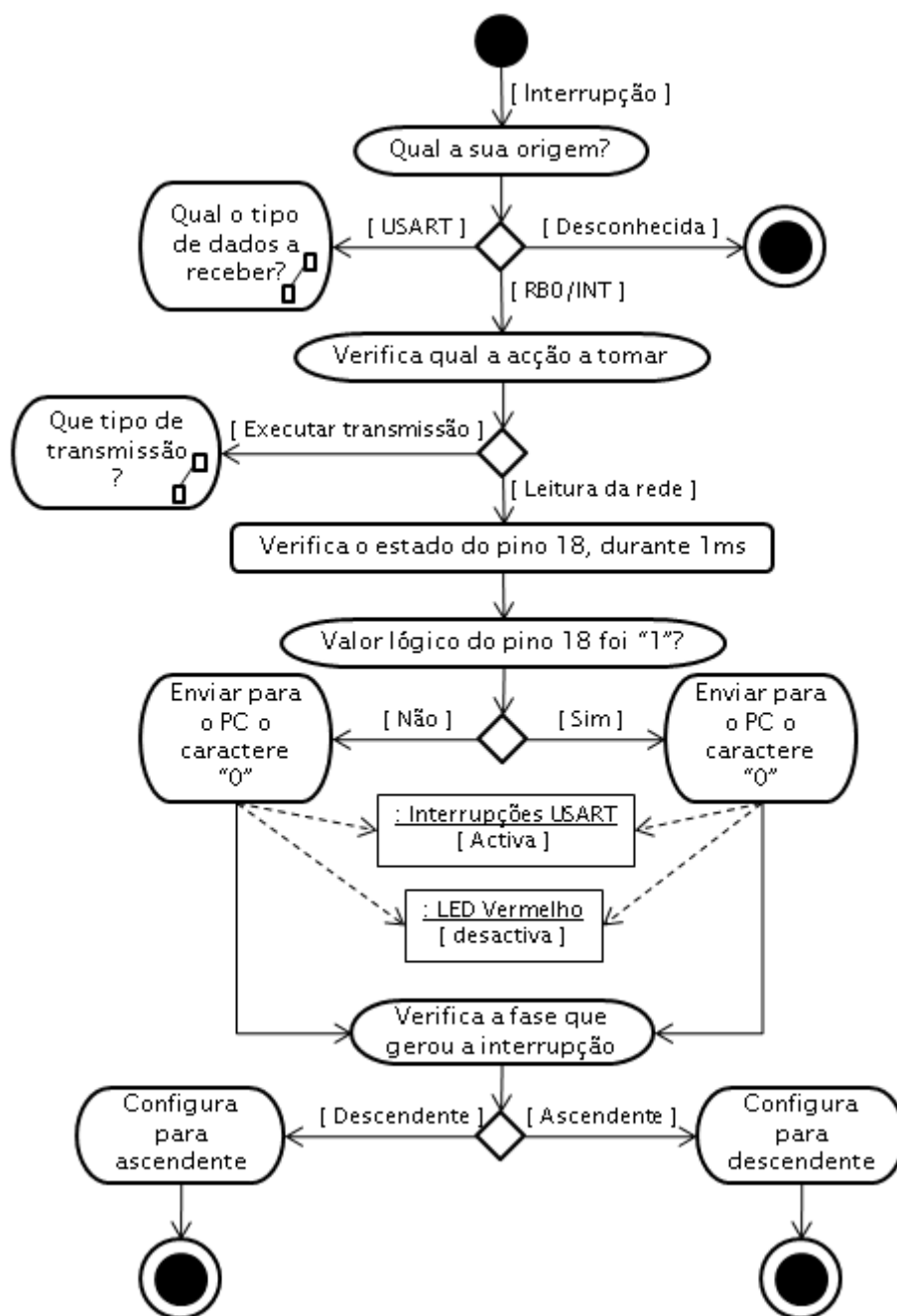


Figura 44 – Leitura de sinais da rede eléctrica com reencaminhamento para o computador.

O Diagrama 2 (Diagrama de Actividade – UML [40], [53]) mostra os passos do programa, relativamente à interpretação dos sinais de alta frequência que circulam na rede eléctrica.

Diagrama 2 - Leitura de sinais da rede eléctrica.



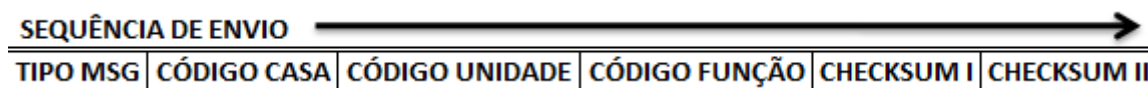
4.2.1.2 Injecção de Sinais na Rede Eléctrica

O módulo foi programado para poder enviar três tipos de mensagens para a rede eléctrica: um comando segundo o protocolo X10 padrão; um comando de acordo com o novo protocolo ou uma resposta de acordo com o novo protocolo.



A nível do microcontrolador, o processo de transmissão inicia-se com a recepção de uma mensagem proveniente do computador. Esta mensagem é constituída por 6 bytes (Tabela 17).

Tabela 17 – Estrutura da mensagem enviada por RS232 do computador para o PIC.



O primeiro byte identifica o tipo de mensagem a ser enviada, e no caso de ser uma resposta, contém também a informação sobre o género de resposta (positiva ou negativa). Este byte tem ainda outra funcionalidade, relacionada com a activação ou desactivação do LED azul de alto brilho.

Tabela 18 – Byte TIPO MSG.

TIPO MSG							
8 Bits							
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

Funções atribuídas aos bits da Tabela 18:

B3 B2 B1 B4: 0 0 0 1 – Indica que a mensagem a enviar é segundo o protocolo X10 padrão.

0 0 1 0 – Indica que a mensagem a enviar é segundo o novo protocolo.

0 1 0 0 – Indica que a mensagem a enviar é uma resposta, segundo o novo protocolo (associado aos bits B7 e B6).

1 0 0 0 – Indica que é um comando dirigido ao módulo, para controlo do LED azul de alto brilho (associado ao bit B4).

B4: 0 – Comando para desactivar o LED azul.

1 – Comando para activar o LED azul.

B5: X – A este bit não se encontra atribuída qualquer função.

B7 B6: 0 1 – Responder enviando na mensagem os bits “0 1”, significando que a recepção do comando ocorreu sem que se verificassem erros transmissão.

1 0 – Responder enviando na mensagem os bits “1 0”, significando que na recepção do comando verificou-se a ocorrência de erros de transmissão.

O segundo, o terceiro e o quarto byte têm a mesma estrutura (Tabela 19), em que os bits ímpares (B7,B5,B3,B1) correspondem aos códigos da Tabela 1 (não esquecendo que, para o novo protocolo, o bit D16 da Tabela 1 foi excluído), e os bits pares (B6, B4, B2, B0) correspondem aos bits complementares (por exemplo, se B7 = 0 então B6 = 1, e assim sucessivamente).

**Tabela 19 – Bytes CÓDIGO CASA,
CÓDIGO UNIDADE e
CÓDIGO FUNÇÃO.**

<u>CÓDIGO CASA/UNIDADE/FUNÇÃO</u>							
8 Bits							
C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C0

Funções atribuídas aos bits da Tabela 19:

C7 C5 C3 C1: Para o CÓDIGO CASA, correspondem aos bits H1, H2, H4 e H8 da Tabela 1, respectivamente. Para o CÓDIGO UNIDADE e CÓDIGO FUNÇÃO correspondem, respectivamente, aos bits D1, D2, D4 e D8 da Tabela 1.

C6 C4 C2 C0: Correspondem, respectivamente, aos bits complementares de C7, C5, C3 e C1.

O quinto e o sexto byte transportam o checksum. Sendo este um valor composto por 6 bits, ao adicionar os complementares, a sua dimensão aumenta para 12 bits. Por esta razão é enviado em 2 bytes, sendo que, do último são apenas utilizados os 4 bits mais significativos.

Tabela 20 – Bytes CHECKSUM I e CHECKSUM II.

CHECKSUM I								CHECKSUM II							
8 Bits								8 Bits							
E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0

Funções atribuídas aos bits da Tabela 20:

E7 E5 E3 E1 F7 F5: Bits correspondentes ao resultado do cálculo do checksum.

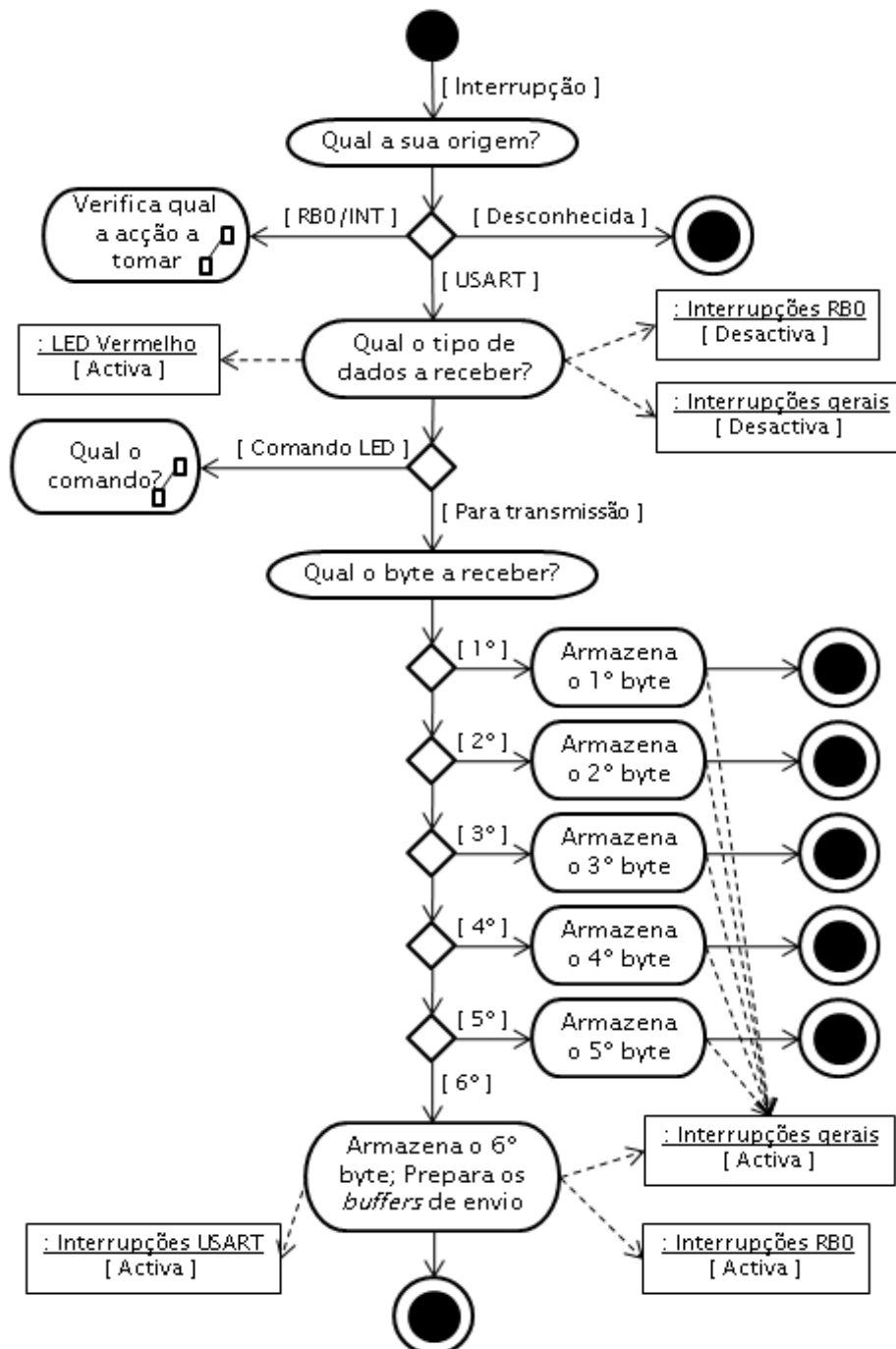
E6 E4 E2 E0 F6 F4: Correspondem, respectivamente, aos bits complementares de E7, E5, E3, E1, F7 e F5.

F3 F2 F1 F0: X X X X – A estes bits não se encontram atribuídas quaisquer funções.

Todas as mensagens enviadas para o PIC são compostas por 6 bytes, mesmo que seja apenas um deles relevante para a acção a tomar, como é o caso do comando para controlar o LED azul, em que se desprezam os valores do segundo ao sexto byte. O mesmo se sucede com o envio de uma mensagem X10 padrão (desprezam-se os bytes relativos ao checksum) e com o envio de uma resposta (despreza-se o byte CÓDIGO FUNÇÃO). A nível de funcionamento do microcontrolador, assim que este detecta o início da recepção de informação proveniente do computador, desactiva as interrupções geradas pela detecção dos 0V da rede eléctrica. Estas voltam a ser activadas após a recepção de 6 bytes. Ao fim da recepção do sexto byte, o PIC já se encontra preparado para enviar a informação, assim que sejam activadas as interrupções geradas pela detecção dos 0V.

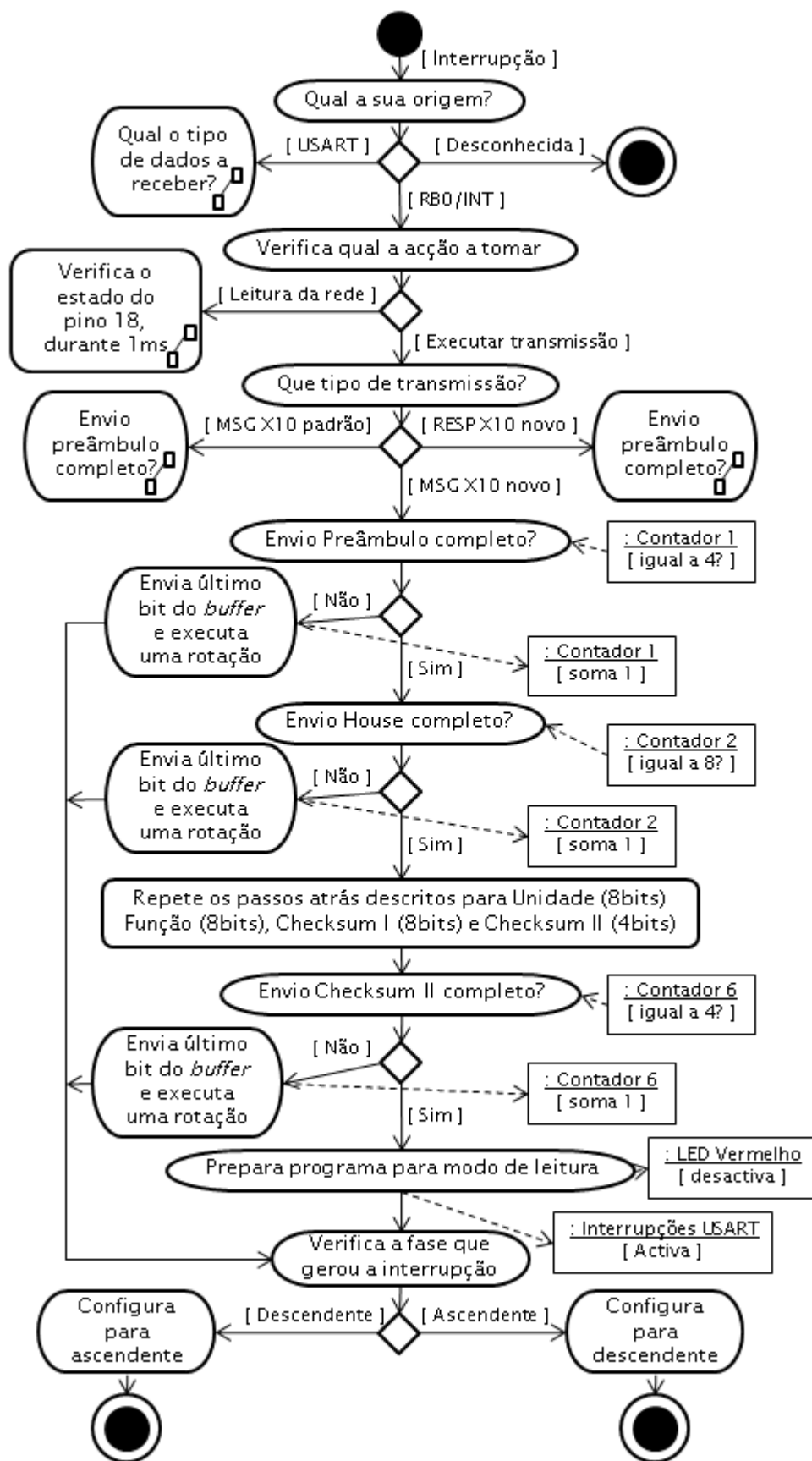
No Diagrama 3 é possível visualizar os procedimentos do microcontrolador, quando este recebe dados provenientes do computador, que sejam destinados a ser transmitidos para a rede eléctrica.

Diagrama 3 – Recepção de dados a transmitir para a rede eléctrica.



Após a compilação da informação recebida, de acordo com o tipo de mensagem a enviar, são injectados os sinais correspondentes a cada cruzamento com os 0V através do controlo da porta RC2/CCP1. Recordo que para o envio do valor “1”, a porta é configurada como saída (“libertando” o sinal PWM de 120kHz), apenas durante 1ms. Depois de completar o envio da informação para a rede eléctrica, o PIC retorna ao modo leitura de sinais da rede eléctrica, até nova recepção de dados via RS232.

Diagrama 4 – Envio de uma mensagem X10 (novo protocolo).

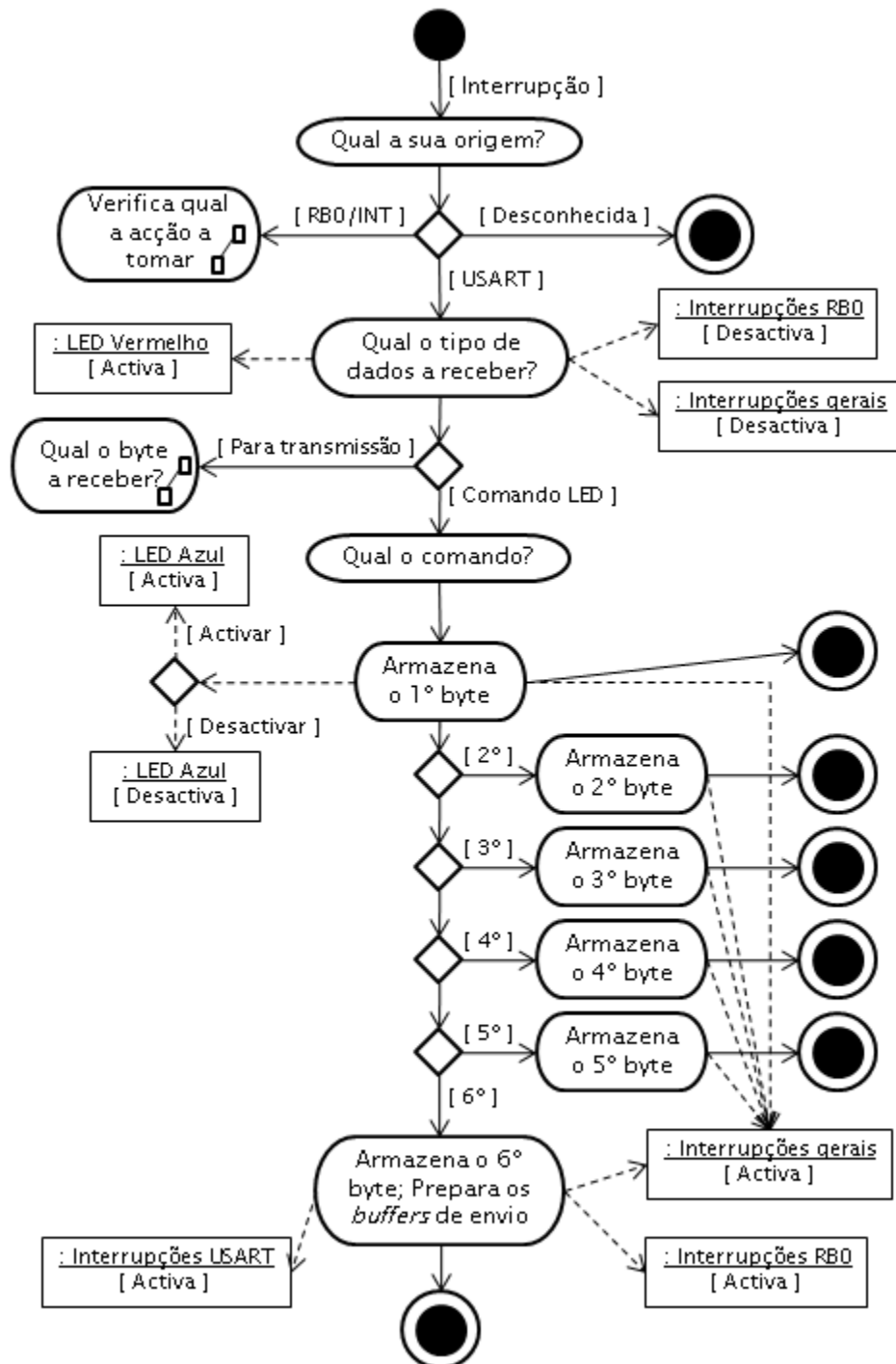




O programa principal do microcontrolador, apenas se limita a verificar o estado dos botões, os quais permitem ao utilizador enviar uma mensagem correspondente ao protocolo X10 padrão ou ao novo protocolo, sem que seja necessária uma ligação do módulo a um computador. Quando um destes botões é pressionado, os dados armazenados em memória são transferidos para os *buffers* de envio. Depois o programa é configurado de maneira a simular o final de uma compilação de dados recebidos via RS232, preparando-se assim para a transmissão nas próximas detecções de 0V da rede.

No caso da informação recebida pelo PIC, procedente do computador, destinar-se ao controlo do LED azul, não existe qualquer transmissão para a rede eléctrica. Por esta razão após a recepção dos 6 bytes e executada a acção desejada sobre o LED, o microcontrolador retorna ao modo de leitura de sinal da rede eléctrica. O Diagrama 5 mostra o processamento de um comando direccionado ao LED azul.

Diagrama 5 – Comando direccionado para o LED azul.



4.2.2 Programa do Computador

O *software* desenvolvido para o computador simula um dispositivo do sistema, ao qual o utilizador deve atribuir um endereço, permitindo assim que este possa ser controlado remotamente através da rede eléctrica. O *software*

também proporciona o controlo de dispositivos remotos e a monitorização dos de todos os dados relacionados com a comunicação entre o computador e o PIC.

Assim como a programação do microcontrolador, a programação realizada no computador também pode ser dividida em duas partes: recepção e envio de mensagens.

4.2.2.1 Recepção de Mensagens

Para simular um dispositivo, é necessária a intervenção do utilizador para escolher qual dos protocolos a utilizar (X10 padrão ou novo), para a atribuição de um endereço ao dispositivo e para a selecção e activação da porta de comunicação a usar.

Assim que é aberta a porta de comunicação, o programa entra em modo de recepção de dados. Estes dados chegam ao computador byte a byte (caractere a caractere), onde são verificados continuamente, procurando a existência dos caracteres “1 1 1 0” (PREÂMBULO). Assim que é detectado o PREÂMBULO, inicia-se o processo de tratamento de dados recebidos, o qual varia consoante o tipo de protocolo que foi estabelecido pelo utilizador:

Protocolo X10 Padrão

Após a detecção do PREÂMBULO nos dados adquiridos, o programa inicia uma contagem dos bytes recebidos. Assim que a contagem atinge um valor maior que a dimensão de uma mensagem X10 padrão (97 bytes) somada a 8 bytes de margem de erro (por razões de precaução relativamente à pausa variável entre mensagens X10), ou seja, ao atingir 105 bytes, o programa retira da mensagem recebida o CÓDIGO CASA, o CÓDIGO UNIDADE e o CÓDIGO FUNÇÃO. Depois é comparado o endereço do dispositivo residente no computador com o recebido por mensagem. Caso se verifique que estes coincidem, o programa executa a acção associada ao CÓDIGO FUNÇÃO, ligando ou desligando uma lâmpada virtual presente na interface do *software*. É também enviada uma mensagem ao microcontrolador, para que este tome a devida acção sobre o LED azul de alto brilho. Concluído o tratamento de dados, o programa volta à pesquisa do PREÂMBULO nos novos dados recebidos.

Caso seja recebida uma mensagem, em que o endereço que esta transporta, não coincida com o endereço do dispositivo residente no computador, o programa retorna à pesquisa do PREÂMBULO nos novos dados recebidos.



Quando é recebida uma mensagem, é mostrado no painel de monitorização o CÓDIGO CASA, o CÓDIGO UNIDADE e o CÓDIGO FUNÇÃO que esta acarreta. Também é exibida no painel a sequência de caracteres que compõem a mensagem.

Novo Protocolo

Quando o programa está configurado para trabalhar de acordo com o novo protocolo, a recepção de dados dá-se de uma forma semelhante à recepção segundo o protocolo X10 padrão. Depois de detectar o PREÂMBULO, é feita a contagem de bytes recebidos até que estes atinjam os 40 bytes (dimensão da mensagem). Assim que a mensagem se encontra totalmente adquirida, são identificados os diferentes parâmetros que esta contém (CÓDIO CASA, CÓDIGO UNIDADE, CÓDIGO FUNÇÃO e CHECKSUM).

Posteriormente, o programa calcula o somatório dos valores dos parâmetros da mensagem, exceptuando o CHECKSUM, que por sua vez será o termo de comparação para o resultado da soma.

Em paralelo com o cálculo atrás referido, são verificados os bits complementares, de forma a detectar alguma anomalia na transmissão que possa ter ocorrido.

Caso se confira que o *checksum* calculado pelo programa não coincida com o CHECKSUM presente na mensagem recebida, ou se houver a verificação da existência de um bit igual ao bit que deveria ser o seu complementar, significa que ocorreu um erro de transmissão na mensagem. Na presença de um ou de ambos os casos, o programa compara o endereço recebido (CÓDIGO CASA + CÓDIGO UNIDADE) com o endereço residente no computador. Se estes forem iguais, é gerada uma resposta com a indicação da ocorrência de erro e enviada via RS232 para o microcontrolador (Tabela 17), que por sua vez, envia para a rede eléctrica (Tabela 10).

Caso contrário, se não se verificarem erros de transmissão e o endereço da mensagem coincida com o endereço do dispositivo residente, a resposta gerada transporta a indicação de transmissão bem sucedida. Antes de ser enviada a resposta para o microcontrolador, é enviada uma mensagem a definir qual a acção que deve ser tomada sobre o LED azul. Só depois é enviada a resposta.

Após o envio da resposta, seja esta negativa ou positiva em relação à ocorrência de erros, o programa regressa ao modo de recepção de mensagem (procura do PREÂMBULO).

O programa não emite qualquer resposta, no caso do endereço presente na mensagem diferir do endereço residente no computador. Nesta situação o programa retorna ao modo de recepção de mensagem sem tomar qualquer acção.

Ao adquirir uma mensagem, o programa disponibiliza no painel de monitorização os dados recebidos (CÓDIGO CASA, CÓDIGO UNIDADE, CÓDIGO FUNÇÃO e CHECKSUM). Se existir uma resposta, é indicado qual o tipo de resposta (ERRO ou OK). São também mostrados os caracteres da mensagem recebida e da resposta enviada.

4.2.2.2 Envio de Mensagens

A parte do programa que lida com o envio de mensagens, está relacionada com o controlo de dispositivos remotos. O *software* permite ao utilizador seleccionar o endereço de um dispositivo e enviar o comando ON ou OFF. O estado do dispositivo remoto (ON ou OFF) é indicado no painel de controlo, e baseia-se no último comando enviado.

Para o caso do protocolo X10 padrão, como não existe qualquer confirmação da recepção da mensagem de comando, o estado do dispositivo remoto mantém-se de acordo com o comando enviado.

Para o novo protocolo, a indicação do estado do dispositivo remoto entra em concordância com o comando, assim que este é enviado. Contudo, se não for recebida, ao fim de 5 tentativas de retransmissão do comando, uma resposta a confirmar que a recepção foi efectuada com sucesso, a indicação do estado do dispositivo remoto volta à designação que tinha antes da intervenção do utilizador. No caso de não haver uma resposta válida, ou mesmo qualquer resposta, ao fim das 5 tentativas de retransmissão, não só a designação do estado do dispositivo remoto volta ao estado inicial, como é alterada a cor de fundo da caixa de texto que indica o estado, de forma a que o utilizador se aperceba com maior facilidade que o envio do comando poderá ter falhado.

O processo de envio de mensagem encontra-se dividido em duas partes diferentes, de acordo com cada um dos protocolos:



Protocolo X10 Padrão

Dá-se início à rotina de envio de uma mensagem quando o utilizador intervém sobre um interruptor virtual, situado no painel de controlo. Assim que o estado do interruptor é alterado, o programa compila os dados a enviar (CÓDIGO CASA, CÓDIGO UNIDADE e CÓDIGO FUNÇÃO) de acordo a estrutura da Tabela 17, baseados na pré-selecção de endereço efectuada pelo utilizador.

De seguida os dados são enviados para o microcontrolador, ficando este encarregue de transmitir a mensagem através da rede eléctrica.

Depois de comunicar com o microcontrolador, o programa regressar ao estado de “escuta”, procurando novas mensagem.

Novo Protocolo

Para o caso do programa estar configurado para guiar-se pelo novo protocolo, o processamento torna-se mais complexo. Assim que o utilizador altera o estado do interruptor são processados os dados respeitantes ao endereço escolhido e ao comando enviado. É calculado o CHECKSUM, e em conjunto com os restantes dados, é construída a mensagem (Tabela 17) e enviada para o microcontrolador.

Após o envio da mensagem, ao contrário do programa que “corre” com o protocolo X10 padrão, o programa (novo protocolo) entra no modo de aguardar por uma resposta. Este modo também procura os caracteres correspondentes ao PRÉAMBULO, “1 1 1 0”, e assim que os encontra inicia um contador de bytes. Neste caso, considera-se que a resposta foi completamente adquirida, quando o contador atinge os 34 bytes (dimensão de uma resposta).

Assim que o programa se encontra em posse da resposta, este inicia a sua avaliação, verificando a ocorrência de erros de transmissão da resposta com recurso ao CHECKSUM e à comparação dos bits complementares. Caso não se apurem quaisquer erros, o programa verifica então o terceiro parâmetro da resposta (CONFIRMAÇÃO, Tabela 10), de modo a apurar se a mensagem foi recebida com sucesso pelo dispositivo remoto. Se for confirmada a inexistência de erros de transmissão, quer no envio da mensagem, quer no envio da resposta, o programa retorna ao modo de procura de mensagem.

O programa foi elaborado de forma a efectuar até 5 tentativas de retransmissão da mensagem, caso se verifiquem as seguintes situações:

- Ausência de resposta num período aproximadamente equivalente ao dobro do tempo de transmissão da resposta, 0,7s (70 bits a 100bps);
- A resposta recebida contém erros de transmissão, detectados pelo cálculo do *checksum* ou pela verificação dos bits complementares;
- A resposta recebida indica que o dispositivo remoto recebeu a mensagem, mas detectou erros de transmissão na mesma.

Numa situação em que após as 5 tentativas, não é recebida uma resposta válida, o programa recorre às alterações atrás referidas na secção que indica o estado do dispositivo remoto (no painel de controlo) e de seguida regressa ao modo de recepção de mensagem. As alterações na indicação do estado do dispositivo remoto, permitem ao utilizador aperceber-se que existe alguma interferência na transmissão ou que simplesmente não existe nenhum dispositivo com o endereço seleccionado pelo utilizador.

4.2.2.3 Interface Gráfica

A interface gráfica desenvolvida neste trabalho (Figura 45) dá ao utilizador a possibilidade de controlar dispositivos remotos, de monitorizar a informação que é enviada e recebida pelo programa e a informação que circula na rede eléctrica. Para o caso do envio de uma mensagem de acordo com o novo protocolo, o programa faculta o tempo entre o envio da mensagem e a resposta do dispositivo remoto. Também é disponibilizado uma forma de guardar a informação do painel de controlo e do painel de monitorização, recorrendo ao menu ficheiro. A informação guardada pode mais tarde ser visualizada pelo utilizador, através do próprio programa.

Nesta interface, o utilizador deve ainda optar pelo protocolo que deseja utilizar e seleccionar a porta COM (*Component Object Model*) a utilizar na comunicação com o microcontrolador.

Ao programa, foi-lhe atribuído o nome proveniente do Latim, Domus Intelligentia X10, fazendo assim referência às casas inteligentes suportadas pela tecnologia X10.



Figura 45 – Interface gráfica.

Na parte superior do painel de controlo encontra-se a configuração da comunicação RS232. É possível ao utilizador a qualquer momento fechar (com sinalização a vermelho) ou abrir (com sinalização a verde) a porta de comunicação (Figura 46).

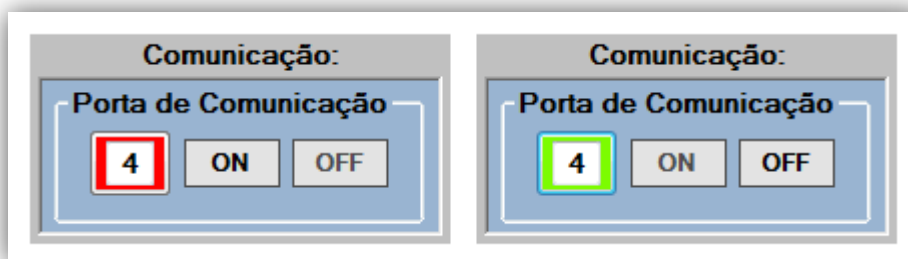


Figura 46 – Porta COM (à esquerda fechada; à direita aberta).

A secção relativa ao dispositivo residente, onde o utilizador deve seleccionar o respectivo endereço, inclui ainda um modelo virtual de uma lâmpada, que funciona em paralelo com o LED azul de alto brilho localizado no módulo do microcontrolador (Figura 47).



Figura 47 – Dispositivo residente (à esquerda desactivado; à direita activo).

A Figura 48 mostra como é feita a sinalização de uma comunicação, de acordo com o novo protocolo, que não foi bem sucedida, isto é, para um caso em que foi enviado uma mensagem e não foi devolvida uma resposta válida ao fim de 5 tentativa.

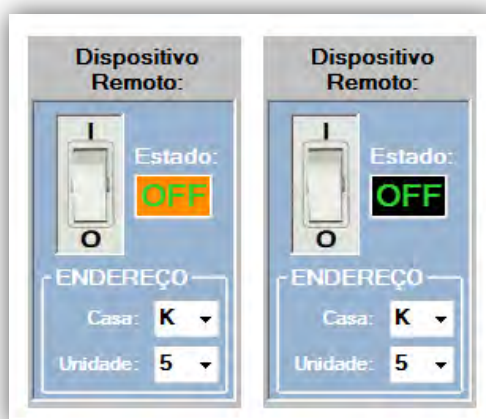


Figura 48 – Dispositivo remoto (à esquerda resposta inválida; à direita resposta válida).

Relativamente aos menus, existem dois, o Ficheiro e o Protocolo. No menu Ficheiro (Figura 49) encontra-se a possibilidade de abrir dados previamente guardados, de guardar os dados actuais do programa e de terminar o programa.



Figura 49 – Menu ficheiro.

O menu Protocolo é responsável pelo tipo de protocolo que o programa se rege. A barra de estado presente na parte inferior da interface gráfica, indica em tempo real qual o protocolo que se encontra seleccionado. Para facilitar a percepção do protocolo em utilização, a barra de estado muda de cor, consoante o tipo de protocolo.

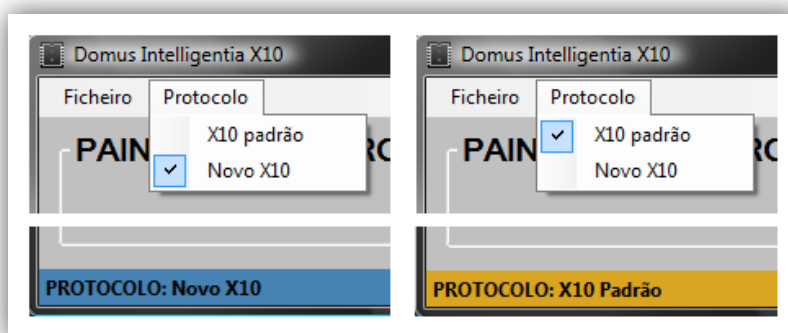


Figura 50 – Menu Protocolo (à esquerda Novo protocolo; à direita Protocolo X10 padrão).

Sendo este um programa direccionado para o desenvolvimento e investigação do novo protocolo, foi-lhe adicionada a possibilidade do utilizador enviar directamente para a porta COM os caracteres que desejar. Esta faceta do programa encontra-se no painel de monitorização da interface gráfica.

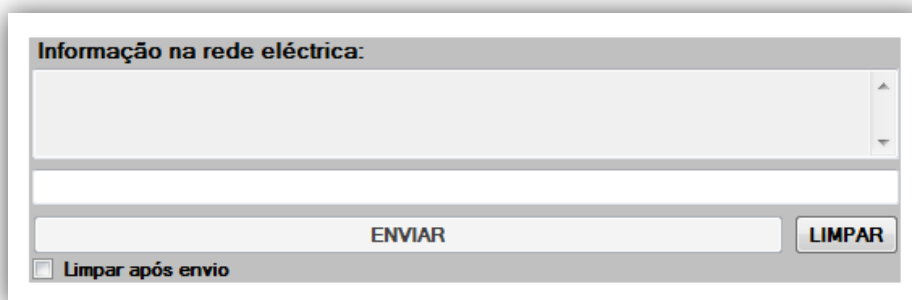


Figura 51 – Envio de caracteres para a rede eléctrica (interface gráfica).

5 Análise de Desempenho

Hardware

A análise do *hardware* foi feita através de medições realizadas com um osciloscópio, da observação de alguns componentes (LEDs e dispositivo X10) e da verificação dos dados recebidos no *software* desenvolvido para o computador (Figura 52).

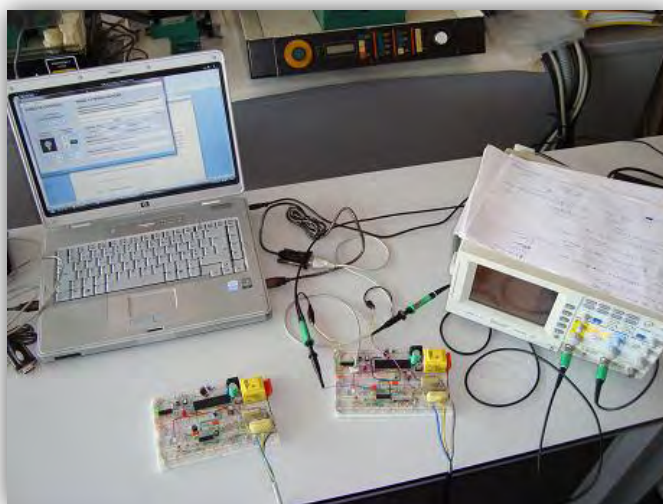


Figura 52 – Bancada de testes de *hardware*.

Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação revelou-se estável (Figura 53), nunca acusando sobrecargas ao longo das actividades experimentais de desenvolvimento dos módulos. Apesar de fazer parte integrante da fonte de alimentação um transformador, normalmente um objecto volumoso, conseguiu-se um circuito relativamente compacto. Este aspecto é de importância significativa, quando se trata de dispositivos de domótica.

Na Figura 53 e nas restantes figuras relativas a fotografias do ecrã do osciloscópio, encontra-se no canto inferior esquerdo a legenda dos sinais visíveis na imagem e a respectiva escala. Por exemplo na Figura 53, encontra-se representado o sinal do canal 1 (amarelo), com uma escala vertical de 2V por divisão e com uma escala horizontal de 500 μ s por divisão.

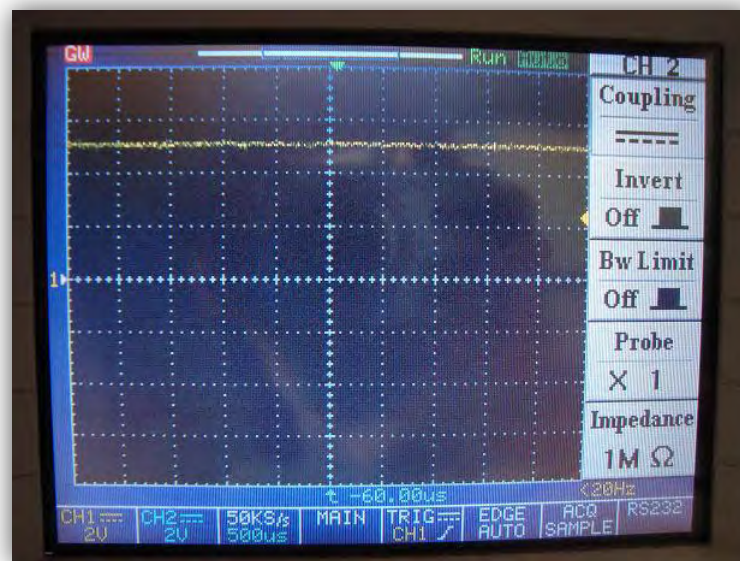


Figura 53 – Sinal à saída do regulador de tensão.

A tensão à saída da ponte rectificadora D1 (Esquema Eléctrico 3) é aproximadamente 13V, estando este valor dentro das expectativas (valor teórico 12,7V) tendo em conta um erro de 0,5V (Figura 54).

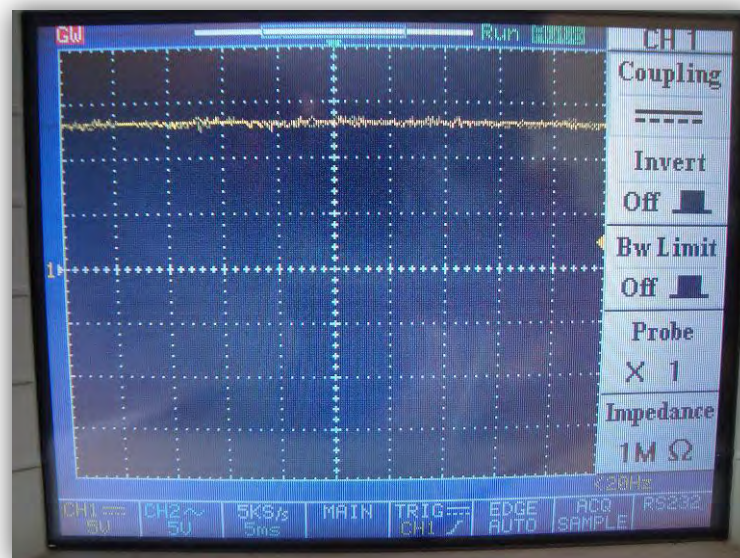


Figura 54 – Sinal à saída da ponte rectificadora.

Detecção de Zeros

O circuito de detecção de zeros desempenhou o seu papel, permitindo ao microcontrolador sincronizar-se com os 0V da rede eléctrica. Na Figura 55 encontra-se representada uma fotografia de um osciloscópio diferente das restantes figuras, pelo que, foi realizada uma legenda alternativa na própria figura.

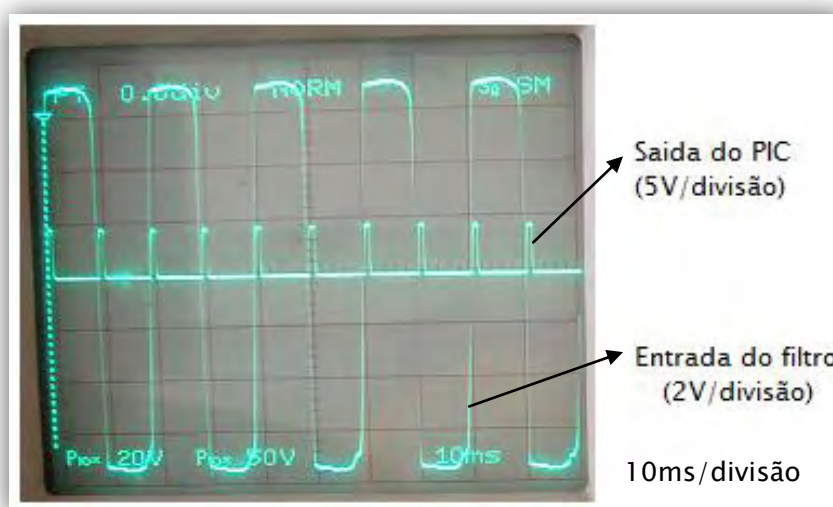


Figura 55 – sincronização com os 0V da rede eléctrica.

A Figura 55 mostra o sinal AC à entrada do filtro (sinal no fio condutor situado entre o díodo de zener D2 e a resistência R7 do Esquema Eléctrico 5) com amplitude aproximadamente de 6,8V. O sinal pulsante, de cerca de 5V de amplitude, provém de uma porta de saída do PIC. Numa fase experimental, esta foi programada para disponibilizar 5V durante 1ms, assim que surgisse uma interrupção gerada pela mudança de estado do pino RB0/INT (Esquema Eléctrico 4). Desta forma foi possível verificar a existência de sincronismo com os 0V da rede eléctrica.

Filtragem do Sinal

Inicialmente, com base no circuito da Microchip, o filtro de sinal apresentava um comportamento irregular, pois nem sempre era capaz de

assinalar a presença de um sinal de 120kHz, quando este era recebido da rede eléctrica.

Com as alterações realizadas, atingiu-se um bom funcionamento do filtro. Este foi testado com recurso a sinais provenientes de um gerador de sinal e da rede eléctrica. Os sinais procedentes da rede eléctrica utilizados nos testes, foram enviados por um módulo X10, o CM11 (Figura 56).



Figura 56 – Módulo X10 CM11.

A Figura 57 mostra a composição do sinal à entrada e à saída do filtro.

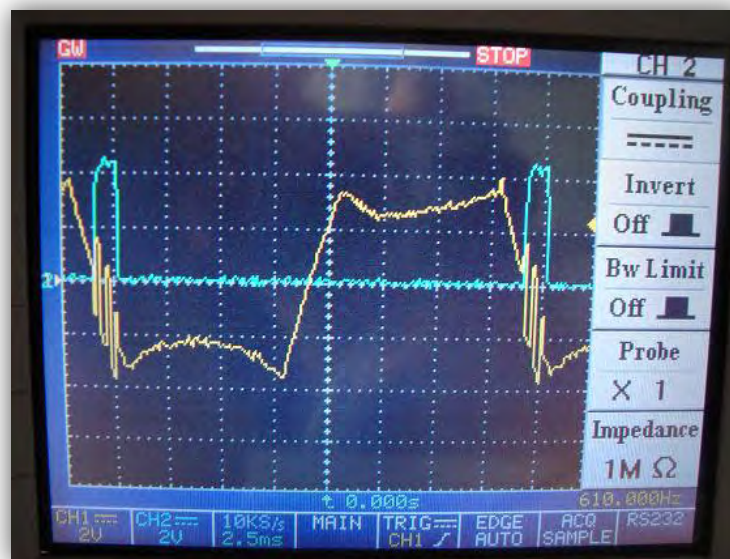


Figura 57 – Sinal à entrada e à saída do filtro

Nesta figura, o canal 1 (amarelo) representa o sinal à entrada do filtro, isto é, o sinal presente no fio condutor entre o díodo de zener D2 e a resistência R7 do Esquema Eléctrico 5. No sinal AC lido no canal 1, encontram-se sobrepostos sinais de 120kHz provenientes da rede eléctrica. Estes sinais têm uma amplitude aproximadamente de 2,4V pico-a-pico. O canal 2 (azul) ilustra o sinal recebido

pelo microcontrolador, proveniente do filtro de sinal. Verifica-se que na presença do sinal de 120kHz à entrada do filtro, provoca uma tensão à saída de cerca de 4,4V.

É de notar que o sinal AC à entrada do filtro, difere em amplitude da Figura 55 para a Figura 57, 6,8V e 3,2V respectivamente. A razão para esta diferença, deve-se à posição em que a ficha do módulo é ligada à tomada, isto é, na Figura 55 o filtro encontra-se ligado à fase e na Figura 57 o filtro encontra-se ligado ao neutro.

Injecção do Sinal

O sinal gerado à saída do microcontrolador (Figura 58), durante a transmissão do bit “1”, tem como características uma oscilação entre 0 e 5,2V, com a duração de 1ms.

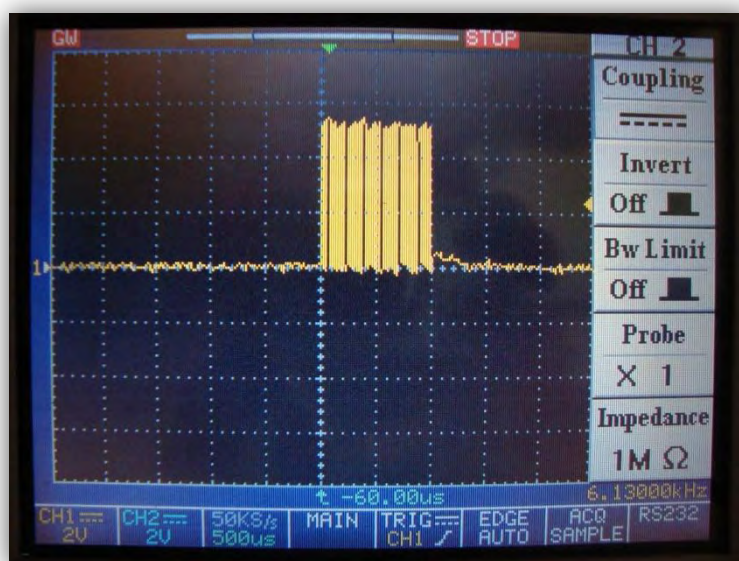


Figura 58 – Sinal gerado pelo microcontrolador.

A Figura 59 revela a frequência do sinal gerado pelo microcontrolador. O período é cerca de 8 μ s (com um erro associado de 0,5 μ s), ou seja, a frequência é de 125kHz, e tendo em conta o erro, o valor real situa-se entre 117kHz e 133kHz.

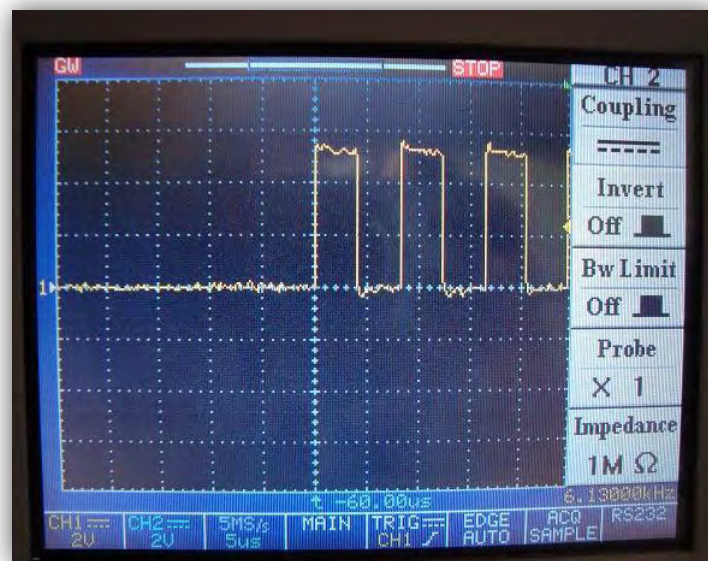


Figura 59 – Frequência do PWM gerado pelo microcontrolador.

Este sinal controla o funcionamento do transístor (Q1, Esquema Eléctrico 6), fazendo com que este actue ao corte e à saturação.

O sinal é amplificado ao passar pelo transístor, sofrendo um aumento de 5V para cerca de 7V. A amplitude do sinal à saída do módulo é inferior aos 12,7V que “alimentam” o colector, pois este sofre uma rectificação por acção dos díodos de zener (6,8V).

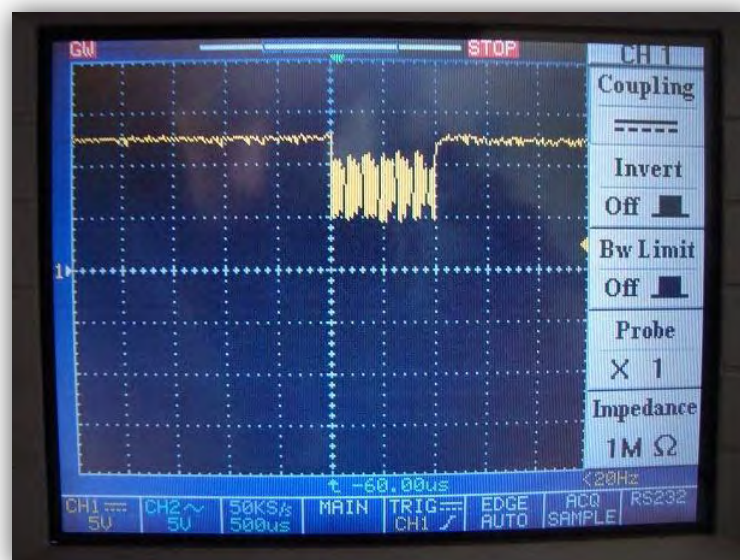


Figura 60 – Sinal no colector do transístor.

Comunicação Série RS232

Este circuito de comunicação foi implementado com sucesso, permitindo estabelecer uma ligação ao computador a 9600bps.

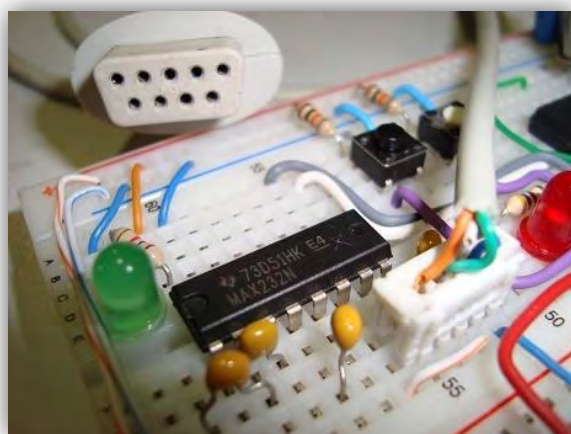


Figura 61 – Ligações ao MAX232.

A Figura 61 ilustra as ligações feitas ao MAX232, onde a cinzento e a branco são os fios de comunicação com o microcontrolador e a ficha do conector branco liga o MAX232 ao cabo de comunicação RS232 DB-9 Fêmea, também representado na figura.

Porém o MAX232 (U1, Esquema Eléctrico 7 – Interface RS232.) mostrou alguma sensibilidade, pois uma destas componentes, pertencente a um dos módulos desenvolvidos, sofreu danos que a danificou permanentemente. Pensa-se que este acontecimento resultou da presença de um pico de tensão ou de uma diferença de potencial excessiva entre a tensão de referência do módulos e a tensão referência do computador.

Aspectos Gerais do *Hardware*

De um modo geral o *hardware* mostrou-se funcional, pois cada secção desempenhou a função que lhe foi atribuída.

O estado do LED azul esteve sempre em concordância com o estado da lâmpada simulada por *software*.

O teste à autonomia dos módulos também foi bem sucedido, pois estando um módulo ligado à rede eléctrica e ao computador, e por sua vez estando o outro módulo apenas ligado à rede eléctrica, foi possível enviar comandos para o primeiro, através da utilização dos botões (Figura 62). Ambos os protocolos funcionaram bem com esta configuração do sistema. A comunicação no sentido oposto já não foi possível pois o módulo que se encontrava ligado apenas à rede eléctrica, não se encontrava preparado para realizar processamento de dados.

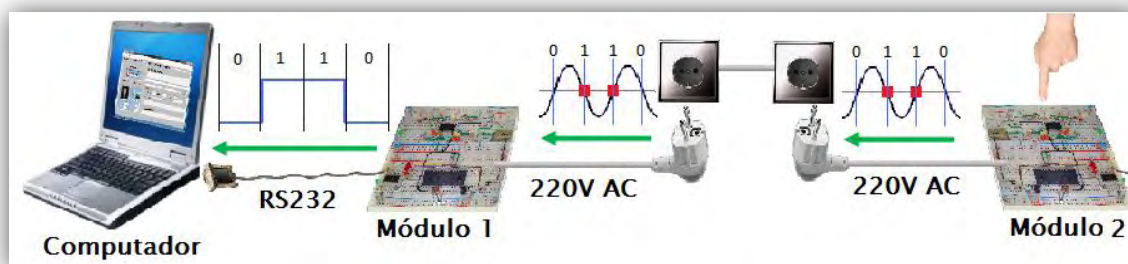


Figura 62 – Configuração do sistema com um módulo independente.

Realizaram-se testes no sentido de colocar um dos módulos desenvolvidos a comunicar com um dispositivo X10. O dispositivo em causa foi um casquilho para lâmpada, com endereço pré-definido de fábrica (CÓDIGO CASA = A, CÓDIGO UNIDADE = 2), com capacidade para actuar perante os comandos ON e OFF.

Verificou-se que o dispositivo X10 reagiu normalmente ao envio do comando ON, contudo, ao ser enviado o comando OFF, o dispositivo desactivava-se apenas por alguns segundos, retornando de seguida ao estado activo. Desconhece-se a razão para tal acontecimento (Figura 63).

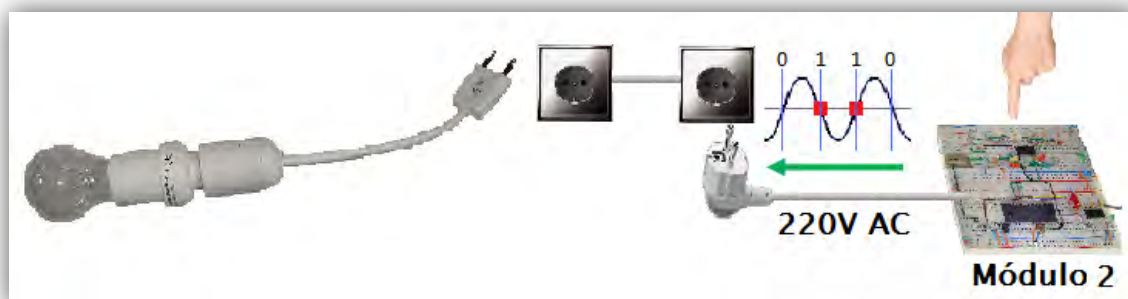


Figura 63 – Envio de comando para dispositivo X10.

A recepção de sinais provenientes de um dispositivo X10 (CM11), foi efectuada com sucesso. Ao trabalhar com a interface gráfica de acordo com o protocolo X10 padrão, esta comportou-se como um dispositivo X10, reagindo aos comandos enviados pelos CM11 (Figura 64).

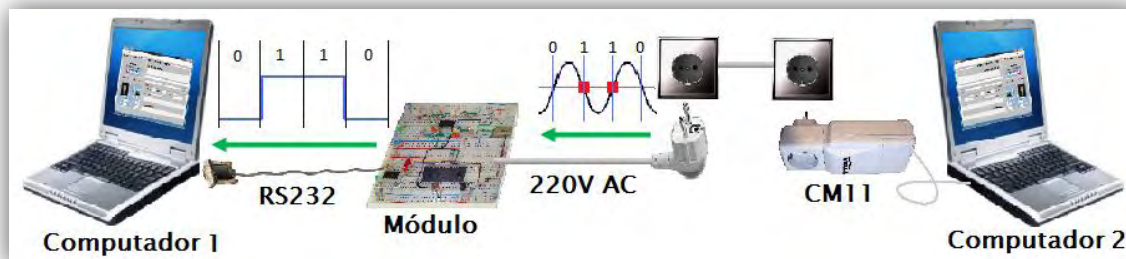


Figura 64 – Recepção de comandos enviados pelo CM11.

Tempos de Transmissão do Novo Protocolo

Foram realizados vários testes de envio de comandos ON e OFF, fazendo variar ao acaso os endereços seleccionados para o dispositivo de destino do comando. Destes testes seleccionaram-se aleatoriamente 10 amostras de tempos medidos desde o envio da mensagem até a recepção da resposta e calculou-se a média.

Na Tabela 21 encontra-se a amostragem de tempos de transmissão entre os dois módulos desenvolvidos neste trabalho, de acordo com o novo protocolo.

Tabela 21 - Amostras de tempos de transmissão do novo protocolo.

Amostra	Tempo (s)	Média Aritmética (s)
1	0,87	0,83
2	0,82	
3	0,79	
4	0,90	
5	0,78	
6	0,82	
7	0,85	
8	0,78	
9	0,91	
10	0,80	

Se for considerada uma transmissão completa e não apenas o tempo que leva um dispositivo remoto a ser actuado (teoricamente 0,4s), é necessário ter em conta o tempo de transmissão da resposta (teoricamente 0,34s), perfazendo um total de 0,74s. De acordo com a análise de desempenho do novo protocolo, os tempos reais de transmissão (t_{Rt}) situam-se à volta de 0,83s. Tendo em conta que para o novo protocolo o tempo de actuação é cerca de 54% do tempo de transmissão (0,4 corresponde a aproximadamente 54% de 0,74), é possível deduzir que o tempo real de actuação (t_{Ra}) é:

$$t_{Ra} = 0,54 \times t_{Rt} \quad (35) \qquad t_{Ra} = 0,54 \times 0,83 \cong 0,45s \quad (35.1)$$

Com o propósito de retirar algumas conclusões foram comparados o X10, a solução desenvolvida neste trabalho, o QBUS e o EIB relativamente ao tempo de resposta, à fiabilidade e aos custos associados a cada sistema.

Tempo de Actuação

No que se refere ao tempo de actuação, o QBUS apresenta bons resultados. Este consegue comandar 400 saídas em cerca de 0,1s, dada a sua capacidade de enviar várias mensagens em simultâneo.

O EIB é um sistema relativamente rápido, pois a sua velocidade de transmissão é de 9600 bps e o comprimento de uma mensagem normalmente varia entre os 9 e 24 bytes, demorando assim cerca de 7,5 a 20 ms a transmitir um comando, dependendo da dimensão da mensagem enviada.

O X10 revela-se o mais lento destes sistemas comerciais, pois para o envio completo de uma mensagem, este necessita de aproximadamente 1s. Este tempo de actuação elevado deve-se ao sincronismo com os 0V da rede eléctrica, o que implica uma velocidade de transmissão de 100bps (se excluirmos os bits complementares, efectivamente a velocidade de transmissão é de 50bps) e à duplicação da informação nas mensagens X10.

A solução desenvolvida, baseada no X10, mantém a velocidade de comunicação deste último, porque conserva o conceito da transmissão sincronizada com os 0V da tensão alternada da rede eléctrica. Devido à reestruturação da mensagem, esta tornou-se mais curta (passou de 97 bits para 40 bits) e por consequência houve uma redução no tempo de actuação para aproximadamente 0,45s.

Fiabilidade

A estrutura de comunicação do sistema QBUS integra respostas de confirmação que indicam, se ocorreram ou não erros de transmissão. Desta forma, o sistema consegue responder a transmissões mal sucedidas, o que contribui para uma estrutura de comunicação consistente.

A nível de fiabilidade, o EIB revela-se superior ao QBUS. Tendo em conta as ligações eléctricas, cada linha EIB possui uma fonte de alimentação independente, havendo ainda a possibilidade de acoplar baterias para prevenção de falhas na alimentação principal. Com isto obtém-se um sistema descentralizado, com alguma autonomia nas linhas. Os acopladores (de linha ou de zona) utilizados para controlo de fluxo, garantem o descongestionamento do BUS e assim o seu bom funcionamento. O próprio BUS é composto por cabos blindados de maneira a conseguir alguma protecção contra ruído electromagnético induzido por agentes externos. Outra alternativa que o EIB tem para combater o ruído, é a transmissão simétrica nos cabos condutores do BUS que permite facilmente detectar sinais indesejados. No que diz respeito à comunicação, é usada a técnica CSMA/CA (detecção de colisões) durante a fase de acesso ao meio. O EIB também integra a técnica de resposta de confirmação a uma mensagem recebida. Devido aos seus recursos de prevenção de falhas de comunicação, o EIB surge como um sistema de grande credibilidade.

Verificou-se que o X10 apresenta os níveis mais baixos de fiabilidade principalmente devido ao seu protocolo de comunicação menos evoluído. Este protocolo não possui qualquer técnica de detecção de colisões, o que associado à ausência de uma resposta a confirmar que a mensagem atingiu o seu destino com sucesso, revela-se o principal responsável pelas falhas de comunicação que ocorrem com alguma frequência neste sistema.

A solução desenvolvida conseguiu ultrapassar o défice de fiabilidade do X10, através da introdução da técnica de transmissão confirmada e das técnicas de detecção de erros de transmissão, o cálculo do *checksum* e a comparação entre os bits significativos e os seus complementares. Durante os testes realizados foram raras as vezes em que não se conseguiu uma transmissão bem sucedida, isto é, em que foram esgotadas as 5 tentativas de retransmissão e mesmo assim não foi obtida uma resposta positiva. Este bom resultado é particularmente relevante, uma vez que os testes foram realizados num meio adverso, nomeadamente o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro que se encontra repleto de equipamentos que provocam ruído na rede eléctrica.

Custos Associados

Uma característica fundamental para o sucesso de um sistema domótico no mercado é a sua relação custo/qualidade. Com o objectivo de obter uma comparação de custos entre o X10, o QBUS e o EIB, foi realizado um orçamento de instalação para cada um destes sistemas, usando como referência uma residência com tipologia T2 e o mesmo nível de automação para cada um deles. Foi escolhido um nível básico de instalação, de modo a conseguir um grau de conforto e controlo semelhante para as três hipóteses, o que salvaguarda a diferença de capacidades inerentes a cada sistema. No Anexo 3 encontram-se os orçamentos detalhados para cada sistema.

A Tabela 22 resume os orçamentos efectuados para cada um dos sistemas de domótica estudados.

Tabela 22 – Orçamentos para os sistemas de domótica estudados.

Orçamentos		
Tecnologia	Fornecedor	Preço Final
X10	EUROX10	2.432,53 €
QBUS	FFonseca	5.851,23 €
EIB	ABB	5.939,76 €

Neste estudo verifica-se que as tecnologias QBUS e EIB têm um custo elevado quando comparadas com a tecnologia X10 (cerca de 2,4 vezes superior).

No Anexo 4 também se encontra o orçamento realizado para um dos módulos desenvolvidos. O valor obtido foi de 40,27€.

6 Conclusões

Com a realização deste trabalho conseguiu-se uma exposição dos conceitos fundamentais da automação residencial, principalmente com o estudo aprofundado dos sistemas X10, QBUS e EIB. A informação recolhida serviu para consolidar o conhecimento dos problemas a ultrapassar, para definir os objectivos a atingir e a para ser utilizada como base de comparação para a solução desenvolvida.

Os resultados obtidos permitem concluir que o protocolo desenvolvido apresenta claras vantagens relativamente ao protocolo X10 padrão. Este facto deve-se ao conceito de introdução de capacidade de processamento de dados nos módulos do sistema, com recurso a um microcontrolador, possibilitando assim a utilização de um protocolo de comunicação mais completo.

A Tabela 23 resume as características de cada um dos sistemas estudados e da solução desenvolvida neste trabalho:

Tabela 23 – QBUS vs EIB vs X10 vs Novo protocolo

CARACTERÍSTICAS	QBUS	EIB	X10	Novo protocolo
Tempo de actuação	BOM	BOM	MAU	SATISFATÓRIO
Fiabilidade	RAZOÁVEL	BOM	MAU	RAZOÁVEL
Custos associados	ELEVADO	ELEVADO	REDUZIDO	REDUZIDO

O novo protocolo conseguiu um tempo de actuação significativamente inferior ao protocolo X10 padrão, contudo, mantém-se ainda um pouco distante dos tempos conseguidos pelos sistemas EIB e QBUS.

Uma melhoria significativa surgiu a nível de fiabilidade, onde foi possível aproximar o novo protocolo do sistema QBUS. No entanto, é necessário ter em conta a falta de informação sobre este último sistema que poderá eventualmente possuir alguma técnica adicional de prevenção de falhas, para além daquela que é referida na descrição do QBUS. Relativamente ao X10 padrão, o novo protocolo possui uma melhoria significativa de fiabilidade, sendo este o objectivo mais relevante atingido neste trabalho.

A nível de custos, concluiu-se que para além do facto da tecnologia desenvolvida ser dedicada à investigação, havendo alguns componentes sobredimensionados, nomeadamente a fonte de alimentação, o microcontrolador e alguns componentes resistivos e capacitivos, é possível considerar esta tecnologia de baixo custo. Se compararmos um módulo de aplicação X10, cujo

preço é de 23,92€, com o módulo desenvolvido, é de notar que este segundo custa quase o dobro do primeiro, contudo, o módulo desenvolvido tem muito mais potencial tecnológico. Por exemplo, o microcontrolador PIC16F877 integrado no módulo desenvolvido tem várias portas de saída, que podem ser utilizadas para o controlo, não de um mas de vários equipamentos. Outra grande vantagem sobre um dispositivo de aplicação X10 diz respeito à possibilidade do módulo desenvolvido ser capaz de comunicar com outro dispositivo via RS232, aumentando assim ainda mais as potencialidades do módulo desenvolvido. Para o caso de desenvolvimento de um módulo comercial baseado na tecnologia utilizada neste trabalho, seria de prever uma redução nos custos do produto final.

De uma forma geral, os objectivos propostos para este trabalho foram atingidos com êxito, conseguindo uma optimização do protocolo X10, no que diz respeito aos níveis de fiabilidade e à velocidade de actuação.

7 Trabalhos Futuros

A concretização dos objectivos propostos para este trabalho originou um conjunto de novas ideias para trabalhos futuros, nomeadamente:

- Introdução de técnicas de detecção de colisões no novo protocolo;
- Implementação de todas as funções previstas pelo protocolo X10 padrão, no novo protocolo;
- Desenvolver um programa para o microcontrolador, de forma a atribuir mais independência aos módulos, ou seja, possibilitar o tratamento de dados do novo protocolo, no próprio módulo;
- Introdução de sensores e actuadores nos módulos desenvolvidos e a criação das respectivas funções associadas ao seu funcionamento;
- Agregar outros meios de comunicação aos módulos desenvolvidos neste trabalho, como por exemplo, comunicações sem fios;
- Garantir o funcionamento dos módulos criados 100% compatível com os dispositivos X10 existentes no mercado, de forma a possibilitar a construção de um sistema misto, ou seja, permitir o funcionamento conjunto do protocolo X10 padrão com o protocolo desenvolvido neste trabalho;
- Aproveitamento da capacidade de processamento dos módulos desenvolvidos para conceber uma ponte de ligação para outros sistemas de domótica, criando assim sistemas híbridos;
- Explorar a possibilidade da comunicação assíncrona relativamente aos 0V da tensão da rede eléctrica, de forma a conseguir um aumento da velocidade de comunicação.

8 Referências e Bibliografia

1. INGENIEURBÜRO H.W. SCHULTE. *Ingenieurbüro H.W. Schulte*. [Online] [Citação: 22 de Fevereiro de 2009.] <http://www.hws-electronic.de/portuges/ptindex.htm>.
2. SANZ, Laura; HERA, Alberto. **ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE EN SERVICIOS Y DISPOSITIVOS DOMÓTICOS**. Madrid : ETSIT Universidade Politécnica de Madrid, 2003.
3. PAOLO, Garau; MASSIMILIANO, Casciello; ROBERTO, Melis. **LA DOMOTICA. TESINA DI PROGETTAZIONE DI SISTEMI DISTRIBUITI**. Cagliari : Universita' Degli Studi di Cagliari, 2005.
4. AVELAR, Samuel. **Protocolo EIB KNX**. Porto : Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2007.
5. SAUTER, Thilo; DIETRICH, Dietmar; KASTNER, Wolfgang. **EIB Intallation Bus System**. [trad.] Sharon Tenniswood. s.l. : Siemens Aktiengesellschaft. ISBN 3-89578-175-4.
6. EUROX10. **X10 info. euroX10**. [Online] CentralCasa. [Citação: 24 de Setembro de 2009.] <http://www.eurox10.com/Content/X10Information.htm>.
7. NUNES, Renato. **Análise Comparativa de Tecnologias para Domótica**. Lisboa : INESC-ID / Instituto Superior Técnico, 2002.
8. SMETHURST, Steven. **Archive for the 'Lonworks' Category. Chipkin Automation Systems**. [Online] 26 de Junho de 2007. [Citação: 3 de Março de 2009.] <http://www.chipkin.com/articles/category/lonworks>.
9. FIT. **Home Network (HBS, IEEE1394)**. [Online] Fukuoka Institute of Techonogy. [Citação: 3 de Março de 2009.] <http://www.fit.ac.jp/~hamabe/intro/HBS.html>.
10. BURROUGHS, Jon. **X-10® Home Automation Using the PIC16F877A. Microchip**. [Online] Microchip Technology Inc., 30 de Outubro de 2002. [Citação: 24 de



Setembro de 2009.]

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00236a.pdf>. AN236.

11. SILVA, António; BAPTISTA, José. **TRANSDUTORES DOMÓTICOS INTELIGENTES. *Relatório Final***. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
12. CHERRY, Neil. ***Linux® Smart Homes For Dummies®***. Hoboken : Wiley Publishing, Inc., 2006. ISBN-13: 978-0-7645-9823-4 / ISBN-10: 0-7645-9823-6.
13. RYE, Dave. **Technical note**. Revisão 2.4.
14. NUNES, Renato. ***Domótica presente e futuro***. Lisboa : Instituto Superior Técnico/INESC-ID.
15. ELECTRÓNICA-PT. **X10 – Casa Inteligente – Home automation. *Electrónica***. [Online] 2009. [Citação: 12 de Fevereiro de 2009.] <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/70/>.
16. ELSENPETER, Robert ; VELTE, Toby. ***Build Your Own Smart Home***. California : The McGraw-Hill Companies, 2003. ISBN 0-07-223013-4.
17. MILLER, Andrew. **SX-X10 Internet Home Automation Remote Control**. [Online] 2001. [Citação: 14 de Março de 2009.] http://www.sxlist.com/images/com/attbi/home/http/~andrew_g_miller/sx-x10/index.htm.
18. X10 PRO. ***Active Home Professional***. [Online] 2005. [Citação: 20 de Março de 2009.] <http://www.activehomepro.com/>.
19. MELLOWARE. **X10 Commander. *MELLOWARE Creative and Useful Software***. [Online] Melloware Inc. [Citação: 14 de Fevereiro de 2009.] <http://melloware.com/products/x10commander/>.



20. WIKIPEDIA. **Q-BUS**. *Wikipedia*. [Online] Wikipedia, The Free Encyclopedia, 17 de Agosto de 2009. [Citação: 24 de Setembro de 2009.]
<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Q-Bus&direction=next&oldid=302950516>.
21. QBUS. **QBUS inside**. [TECHNICAL DATASHEETS] s.l. : QBUS DOMOTICA Home Automation, 2006.
22. QBUS. **QBUSCOM.DLL V2.1.18 (Class="Serial2)**. s.l. : QBUS, 2006.
23. QBUS. **QBUS home automation for all**. s.l. : QBUS DOMOTICA Home Automation, 2006.
24. QBUS. **QBUS HOME AUTOMATION**. [Online] [Citação: 26 de Fevereiro de 2009.]
<http://www.qbus.be/>.
25. ERTEL, Jürgen. **Intelligent Installation Techniques in Building**. [Online] Universidade Tecnológica de Brandenburg. [Citação: 1 de Março de 2009.]
http://www.tu-cottbus.de/Neuwertwirtschaft/Eib_e.htm.
26. PRICE, Colin. **EIB Explained**. *Hidden Wires*. [Online] Ivory Egg (UK), 2006. [Citação: 1 de Março de 2009.]
<http://hiddenwires.co.uk/resources/articles2006/articles20060103-04.html>.
27. PORTUGAL, EIB/KNX. **Descrição**. *EIBA Portugal*. [Online] EIB/KNX Portugal. [Citação: 5 de Março de 2009.]
<http://www.knxportugal.com/imagens/EIBA.pdf>.
28. ABB. **Intelligent Installation Systems**. *Product Range Overview*. s.l. : ABB i-bus® EIB / KNX, 2007. 2CDC 500 007 B0205.
29. SIEMENS. **IP Router N146**. *Instabus EIB*. s.l. : SIEMENS, 2004. Manual. 5WG1 146-1AB01.



30. AGFEO. **AGFEO AS 181 plus EIB**. *EuraCOM*. [Online] AGFEO Telekommunikation. [Citação: 6 de Março de 2009.]
http://www.eutel.net/Agfeo_gb/Agfeo_AS_181_plus_EIB.pdf.
31. AGFEO. **Wireless Alarm Controller WAC/EIB**. *EuraCOM*. [Online] AGFEO Telekommunikation. [Citação: 6 de Março de 2009.]
http://www.eutel.net/Agfeo_gb/Agfeo_Wireless_Alarm_Controller_WAC_and_EIB.pdf.
32. SIEMENS. **EIB-TP-UART-IC**. s.l. : SIEMENS, 2000. Technical Data.
25.15.14.41.34a.
33. KNX. **ETS – Description**. [Online] KNX, 31 de Dezembro de 2008. [Citação: 6 de Março de 2009.] <http://www.knx.org/knx-tools/ets/description/>.
34. SIEMENS. **PALM-EIB-PROJECT**. *EIB-Diagnostics-Service (EDS)*. Deggendorf, Alemanha : Universidade de Ciências Aplicadas.
35. NUNES, N.; MENDES, A. **COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DA REDE ELÉCTRICA**. s.l. : Instituto Superior Politécnico Gaya – Engenharia Electrónica e de Automação, 2008.
36. IRIAVE. **IRIAVE Electronics**. [Online] [Citação: 5 de Abril de 2009.]
<http://www.iriave.it/inglese/home.htm>.
37. SMARTHOME. **X10 TW523 Two-Way Interface Module** . *SMARTHOME Home Automation Superstore*. [Online] SMARTHOME. [Citação: 17 de Abril de 2009.]
<http://www.smarthome.com/1135/X10-TW523-Two-Way-Interface-Module-TW523-PSC05-/p.aspx>.
38. WALFISH, Shabsi; BADOOLAH, Omar. **EE161: X10 Receiver Project**. Manhattan : Albet Nerken School of Engineering, 2000.
39. CONBIT, Reston. **Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive**. *Microchip*. [Online] Microchip Technology Inc., 22 de Setembro de 2004.



[Citação: 24 de Setembro de 2009.]

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00954A.pdf>.

40. FARIA, João Pascoal. **UML – Diagramas de Actividades (activity diagrams)**. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001.
41. MARTIN, Alastair. **Investigating Home Automation**. Sheffield : Department of Computer Science, Sheffield University, 2003. Dissertação. COM3021.
42. HERNANDES, Bruno; HASHISUCA, Antônio. **Utilização da tecnologia Power Line Communication (PLC) e o protocolo de comunicação X10 como solução para automação residencial**. Foz do Iguaçu, Brasil : Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2006. Artigo. CRICTE – VI Feira de Protótipos.
43. NORD, Lena. **A study of services, network systems and future trends**. *Smart residences*. s.l. : KTH – The Royal Institute of Technology, 2001. Master of Science Thesis.
44. MAINARDI, E., [et al]. **A low-cost Home Automation System based on Power-Line Communication Links**. Ferrara, Itália : 22nd ISARC, 2005.
45. ABB. **Catálogo Geral 2008**. *NIESSEN*. Lisboa : Asea Brown Boveri, S.A., 2008.
46. ABB. **Lista de Preços Maio 2008**. *NIESSEN*. Lisboa : Asea Brown Boveri, S.A., 2008.
47. RYE, Dave. **Power Line Interface Model # PL513 and Two-Way Power Line Interface Model # TW523**. *The X-10 POWERHOUSE*. Vol. 2.4, TECHNICAL NOTE.
48. PERRY, John. **Redoak**. [Online] 2009. [Citação: 16 de Fevereiro de 2009.] <http://www.redoak.co.uk/index.html>.
49. CARVALHO, Rui; GUERREIRO, Rui; GOMES, Bernardo. **Domótica: Principais protocolos e apresentação do EIB**. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2004.



50. F.FONSECA, S.A. **F.Fonseca**. [Online] [Citação: 26 de Fevereiro de 2009.]
<http://www.ffonseca.com/>.
51. QBUS. **2 wire current-bus**. s.l. : QBUS DOMOTICA Home Automation, 2007.
52. WIKIPEDIA. **Unibus**. *Wikipedia*. [Online] Wikipedia, The Free Encyclopedia, 10 de Junho de 2008. [Citação: 7 de Março de 2009.]
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Unibus>.
53. RAMOS, Pedro Nogueira. **DESENHAR BASES DE DADOS com UML**. [ed.] Manuel Robalo. 2ª Edição. Lisboa : Edições Sílabo, Lda., 2007. ISSN 978-972-618-474-4.
54. NUNES, Renato. **Arquitectura de um Controlador Domótico Flexível e de Baixo Custo**. Lisboa : INESC-ID/Instituto Superior Técnico.
55. EKLUND, David e RASMUSSEN, Daniel. **A Home Automation Prototype**. Lund, Suécia : Department of Automation Control, Lund University, 2008. ISRN LUTFD2/ TFRT--5817--SE/ISSN 0280-5316.
56. QBUS. **HOME AUTOMATION FOR EVERYONE**. *DOMOTICA*. Meulebeke, Bélgica : QBUS, 2005.
57. QBUS. **PROTOCOL SERIAL-INTERFACE V1.1**. s.l. : QBUS, 2005.
58. EIB. **Project Engineering for EIB Installations**. 4ª Revisão. Bruxelas : European Installation Bus Association.
59. DOMÓTICA VIVA. **Bricolaje X-10 Curso de Domótica a través de la red eléctrica (corrientes Portadoras)**. [Online] Domótica Viva, 8 de Novembro de 2003. [Citação: 4 de Março de 2009.] <http://www.domoticaviva.com/X-10/X-10.htm>
60. SOUZA, David José. **Desbravando o PIC**. 8ª Edição. São Paulo : Érica Ltda, 2003.



ANEXOS

Anexo 1

Trabalhos de Investigação Revistos

1º Trabalho – Investigating Home Automation. [41]

Este projecto procurou encontrar soluções para a automação residencial, explorando a tecnologia existente naquela data, de forma a proporcionar um controlo sobre um maior número de dispositivos.

O sistema adoptado neste trabalho foi o X10. Esta escolha prendeu-se ao facto de que os dispositivos X10 presentes no mercado apresentavam algumas limitações. Por exemplo, para controlarmos um sistema de áudio, apenas era possível desligar ou ligar o mesmo. Surgiu a hipótese de introduzir novos comandos, nomeadamente mudar de estação de rádio, alterar o volume, colocar em *standby*, enfim as funções principais que podemos realizar com o telecomando próprio do equipamento em questão. Esta dissertação centrou-se assim na exploração do protocolo X10 com o intuito de obter um domínio superior no que diz respeito a equipamentos áudio e vídeo. Para atingir este objectivo foi proposta a alteração do protocolo X10, com introdução de novas funções, efectuando depois, testes num ambiente simulado por *software*. Neste ambiente, foram recriados equipamentos domésticos com novas capacidades, preparados para responder ao novo protocolo X10, ou seja, capazes de ler e interpretar sinais X10 provenientes da rede eléctrica. Foram também introduzidos dispositivos X10 reais na “equação”, isto é, o ambiente doméstico simulado funcionou em paralelo com o real. Para o efeito, desenvolveram um sistema de controlo responsável pela supervisão de ambos os ambientes (simulado e real). O sistema foi criado recorrendo à programação em JAVA, de forma a possibilitar a sua sustentação em diferentes dispositivos (Computador e Tini board). Estes últimos comunicam com a rede X10 por intermédio do dispositivo de interface CM12. É importante referir que o ambiente real serviu apenas para testes de fiabilidade de comunicação e bom funcionamento do sistema de controlo, e não para testes do novo protocolo, isto porque não se encontravam no mercado os equipamentos domésticos desejados, capazes de ler e interpretar as novas funções X10 propostas. Estes equipamentos não foram construídos dada a dificuldade e tempo necessário para obter um conhecimento mais aprofundado na área de vídeo e áudio, que viabilizasse a construção dos mesmos. Outro factor desfavorável seria o custo de construção elevado.

Os objectivos da tese foram concretizados com sucesso. Os equipamentos simulados foram capazes de ler e interpretar os novos comandos. O controlador

também funcionou com êxito, não existindo problemas de comunicação nem de comando, tanto com o ambiente simulado como com o real. Revelaram-se também as vantagens de ter um controlador dedicado inteiramente à gestão da rede de domótica (Tini Board), pois notaram-se menores consumos de energia, menos poluição sonora e dimensões mais compactas.

Concluiu-se então que o X10 tem potencial para o desenvolvimento de novas funções e que existem vantagens na concepção de equipamentos domésticos com capacidades de comunicação via rede eléctrica (comunicação X10 neste caso).

2º Trabalho – Utilização da tecnologia Power Line Communication (PLC) e o protocolo de comunicação X10 como solução para automação residencial. [42]

Os autores deste trabalho propõem uma solução para um sistema domótico baseado na comunicação via rede eléctrica residencial, neste caso o X10. Em alternativa a um *gateway* próprio para aceder à rede X10 através da internet, é proposto um sistema simples e de custo reduzido, que passa pela utilização de um computador (PC). Surgiu a ideia de desenvolver um *software* controlador que disponibilizasse uma interface Web para controlo e monitorização dos dispositivos X10. Este *software* estaria alojado num PC que se encontrasse em comunicação com a rede X10 por intermédio de um módulo próprio (o CM15 por exemplo). O PC actuaria como servidor Web, disponibilizando a interface Web do sistema de controlo num dado endereço da internet. É sugerido o desenvolvimento de uma aplicação em linguagem de programação Perl, para a execução dos comandos dados pelo utilizador.

Esta solução permite ao utilizador um controlo remoto da sua residência a baixo custo. A nível de custos a diferença torna-se significativa, visto que um *gateway* próprio pode custar cerca de 810,00€, caso do R.I.T.A. Gateway Residencial, enquanto que para a solução proposta, o módulo necessário para a comunicação do PC com a rede X10 custa apenas 74,98€, caso do CM15.

3º Trabalho – COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DA REDE ELÉCTRICA. [35]

Hoje em dia existem vários sistemas de domótica que oferecem uma vasta gama de possibilidades ao utilizador, contudo muitos destes estão apenas projectados para uma implementação de raiz aquando da construção das habitações. É certo que nas habitações mais recentes, já se fazem instalações de

cablagem própria para redes domésticas, mesmo que não esteja prevista a implementação de um sistema domótico. O problema surge nas habitações construídas antes da revolução dos computadores pessoais, as quais não se encontram minimamente preparadas para as novas tecnologias.

O projecto desenvolvido por estes dois alunos de Engenharia Electrónica e de Automação, visa a utilização da rede eléctrica da habitação para a transmissão de informação, de modo a solucionar o problema das habitações mais antigas. Foi proposto o desenvolvimento de dispositivos capazes de comunicar através da rede eléctrica, com base num protocolo próprio.

Para atingir os objectivos, foi elaborado um estudo de vários protocolos já existentes, destacando o X10, de forma a criarem um novo protocolo fiável, seguro e com minimização das falhas inerentes à transmissão via rede eléctrica. Foram utilizados microcontroladores para a projecção de um emissor e de um receptor, de modo a possibilitar futuras aplicações, dada a versatilidade destes componentes. Foi também criado um Power Line Modem (PLM), partindo da informação cedida pela empresa sueca High Tech Horizon.

Os objectivos foram conseguidos com sucesso, surgindo apenas um pequeno problema no decorrer da fase de implementação do sistema. Este problema diz respeito à avaria de um componente do PLM durante a montagem, que segundo os autores, deve ter surgido devido à sensibilidade do componente em causa, a descargas electrostáticas.

4º Trabalho – A study of services, network systems and future trends. [43]

Este estudo surge na problemática dos crescentes consumos energéticos, que já se fazem sentir há alguns anos. O seu propósito passa pela análise do impacto energético respeitante às casas inteligentes. É proposto uma investigação aprofundada sobre as partes envolvidas nos projectos de automação residencial direccionados para o controlo e monitorização de consumos energéticos (utilizador, fornecedor de equipamentos/instalação de automação, produtor/distribuidor de energia).

Com este trabalho foi possível chegar a algumas conclusões interessantes. Verificou-se que existem soluções e tecnologias eficientes na área da energia, contudo o problema encontra-se na lacuna de informação dos construtores relativamente às necessidades dos consumidores e na falta de propaganda às casas inteligentes. Outro aspecto que se destacou, foi a falta de segurança de algumas empresas no que diz respeito ao desenvolvimento destas tecnologias

inovadoras, perante a fraca procura. Por outro lado, estas mesmas empresas prevêem um maior investimento nesta área de desenvolvimento de produto, num futuro próximo. Um dado importante, recolhido na análise efectuada, foi o custo das instalações/equipamentos. Este revela-se elevado, pois o produto final passa por uma cadeia de distribuidores que procuram grandes lucros, duplicando por vezes o custo a cada etapa da cadeia de distribuidores.

A introdução destes sistemas traduziu-se numa poupança energética que ronda os 30%. Este valor faz com que seja possível recuperar o investimento entre dois e quatro anos, para uma habitação de grandes dimensões, e entre quatro e seis anos, para uma habitação de dimensões reduzidas.

O estudo prevê uma difusão gradual e sistemática deste tipo de sistemas. É apontado um período de pico de actividade nesta área, que deve surgir dentro dos próximos vinte anos. Nas conclusões deste trabalho refere-se mesmo a eventualidade de que daqui a cinquenta anos, toda a gente terá acesso a esta tecnologia (casas inteligentes).

5º Trabalho – A low-cost Home Automation System based on Power-Line Communication Links. [44]

Estes autores levantaram a problemática dos custos da domótica actual. Consideraram-nos excessivos, pelo que, propuseram-se a demonstrar a possibilidade da concepção de um sistema de automação residencial de baixo custo.

Para atingir tais objectivos, logo à partida foi escolhido como meio de comunicação, a rede eléctrica. Esta medida permite uma grande poupança na instalação, visto que não são necessárias alterações consideráveis na cablagem já existente. Foram estudados os conceituados sistemas EIB, BTicino e X10, a fim de obter bases de comparação e conhecimento para o desenvolvimento do projecto.

Para testar a funcionalidade do sistema, foram criados dois módulos para controlar a abertura de uma janela. Um *master*, composto por um modem de interface (PLM-24) com ligação à rede eléctrica, que por sua vez comunica, através de RS-232, com um microcontrolador (PIC16F876) equipado com três botões para interface com o utilizador (abrir a janela, fechar a janela e interromper a acção). E um *slave*, com composição física idêntica ao *master*, com excepção à existência de uma ligação entre o PIC e o controlador do motor da janela.

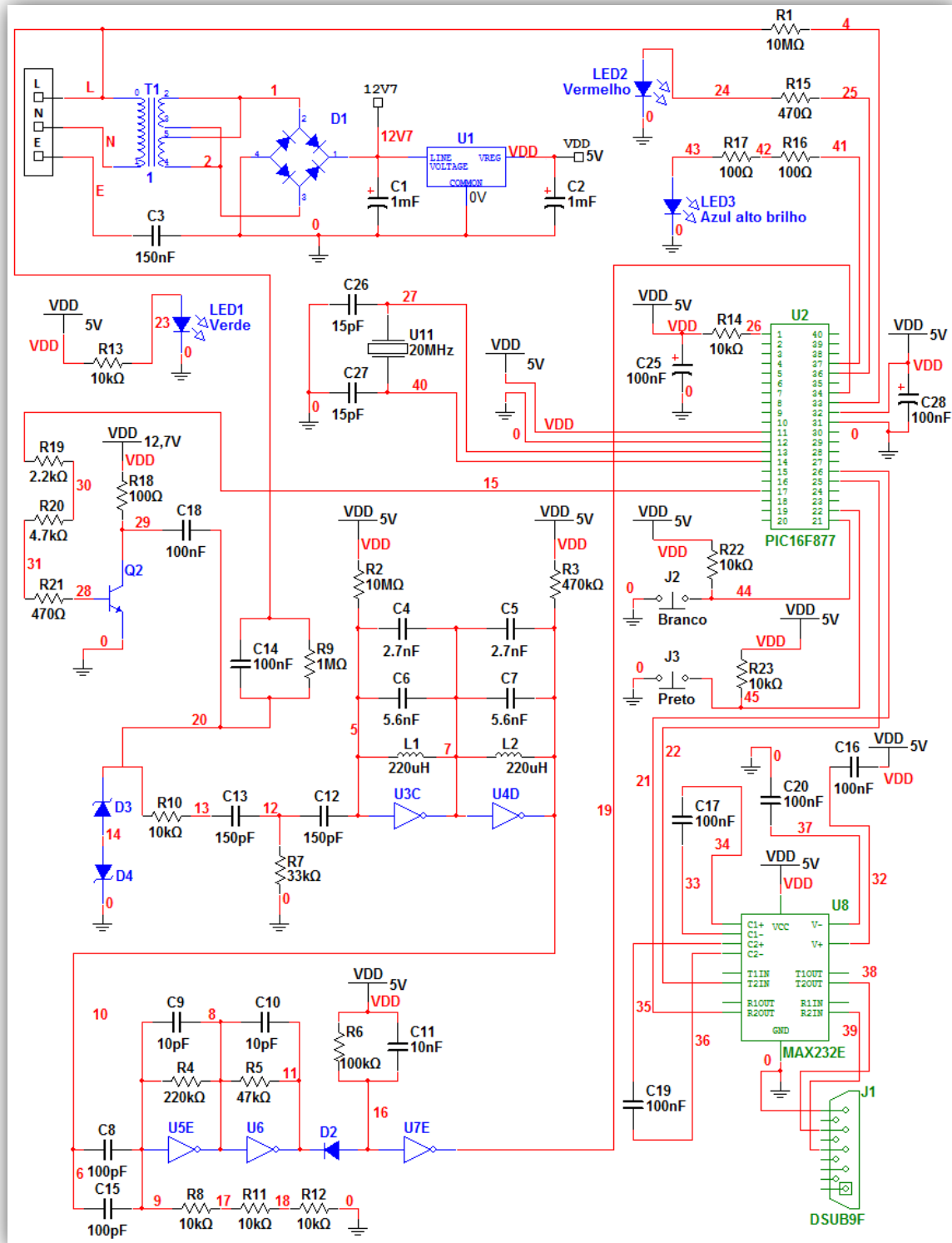


A nível de comunicação foi utilizado o protocolo SNAP (Scalable Node Address Protocol), com detecção de erros e colisões, optando ainda, por não utilizar a técnica de respostas de confirmação de recepção de mensagem. Para a detecção de erro foram testados CRC de 8 e 16 bits, e *checksum*, revelando-se este último uma boa opção.

No final, o sistema de comunicação entre o *master* e o *slave* revelou-se robusto e com custos reduzidos de construção (90 €). Este grupo de trabalho prevê um futuro desenvolvimento de uma interface de rádio frequência (RF) e uma interface de voz, para controlo da janela por intermédio de um comando RF e comandos de voz. Estes objectivos futuros passam também por tecnologia de baixo custo.

Anexo 2

Esquema Eléctrico Completo



Anexo 3

Orçamentos

Seguidamente encontram-se descritas as soluções adoptadas para cada divisão da habitação:

- Hall de entrada
 - Controlo da iluminação do hall de entrada e corredor de acesso aos quartos e à sala comum (sala de estar e sala de jantar), por intermédio de um interruptor ON/OFF e por acção de um sensor de movimento;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF);
 - Ecrã táctil para controlo generalizado da residência (selecção de cenários, controlo de dispositivos/iluminação, ...).
- Cozinha
 - Controlo da iluminação por intermédio de interruptor ON/OFF;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF).
- Lavandaria
 - Controlo da iluminação por intermédio de interruptor ON/OFF;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF).
- Corredor de acesso aos quartos e à sala comum
 - Controlo da iluminação do corredor e da zona de acesso à casa de banho comum, por intermédio de interruptor ON/OFF;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF).
- Sala comum
 - Controlo da iluminação da sala, por intermédio de dois interruptores com possibilidade de regulação de intensidade luminosa e por acção de um sensor de movimento (com sensor de luminosidade incorporado);
 - Controlo da iluminação da varanda, por intermédio de um interruptor ON/OFF;



- Interface para controlo através de comando de infravermelho (IV) ou radiofrequência (RF);
 - Interface para controlo e configuração através de um computador;
 - Três tomadas eléctricas que permitem um controlo (ON/OFF);
 - Controlo de estores, por intermédio de um interruptor regulador.
- Casa de banho comum
 - Controlo da iluminação da casa de banho comum, por intermédio de interruptor ON/OFF.
- Quarto Secundário
 - Controlo da iluminação do quarto, por intermédio de um interruptor com possibilidade de regulação de intensidade luminosa;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF);
 - Controlo de duas tomadas para iluminação (regulação de intensidade);
 - Interface para controlo através de comando de infravermelho (IV) ou radiofrequência (RF);
 - Controlo de estore, por intermédio de um interruptor.
- Casa de banho privativa
 - Controlo da iluminação da casa de banho comum, por intermédio de interruptor ON/OFF.
- Quarto Principal
 - Controlo da iluminação do quarto, por intermédio de um interruptor com possibilidade de regulação de intensidade luminosa;
 - Tomada eléctrica que permite um controlo (ON/OFF);
 - Controlo de duas tomadas para iluminação (regulação de intensidade);
 - Interface para controlo através de comando de infravermelho (IV) ou radiofrequência (RF);
 - Controlo de estore, por intermédio de um interruptor.

Na Figura 65 encontram-se representadas as soluções de automação seleccionadas para o T2.

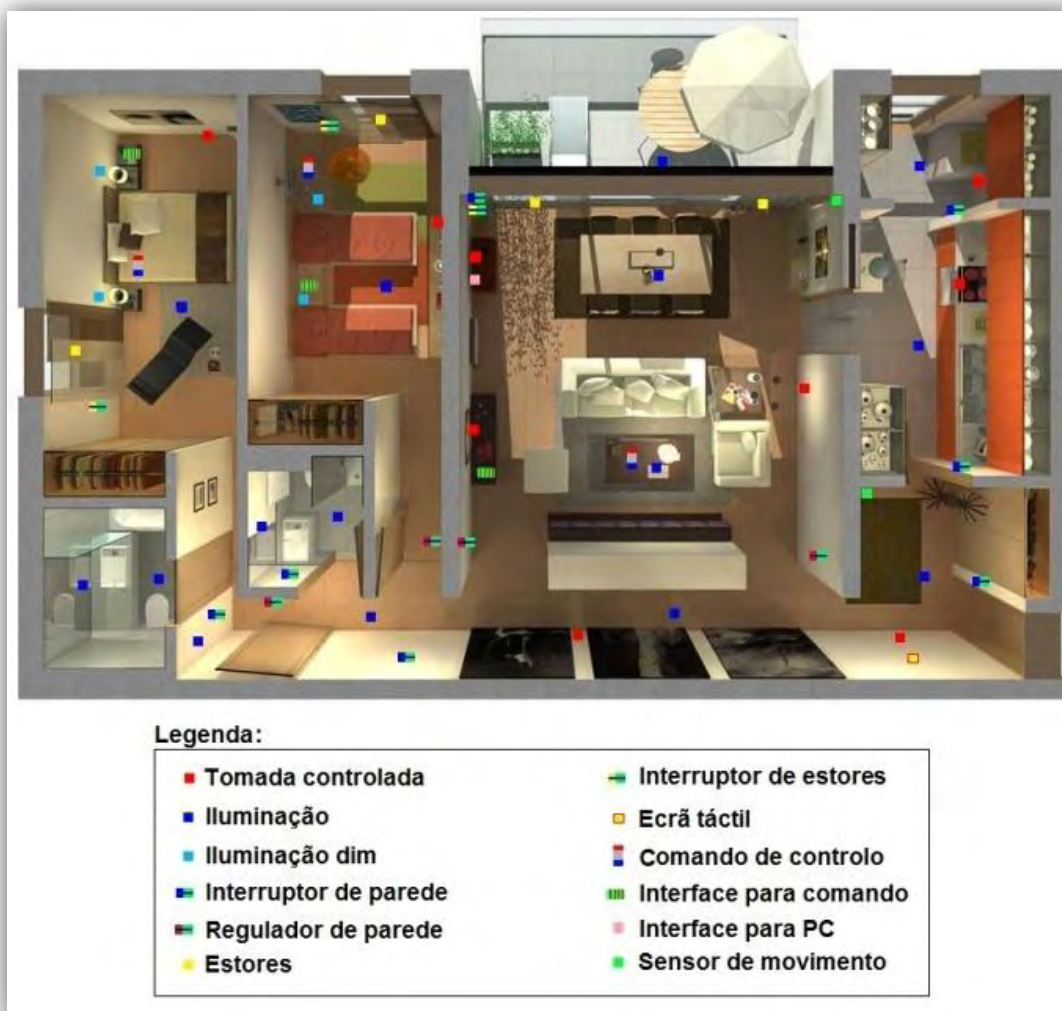


Figura 65 – Disposição dos equipamentos de domótica no T2.

A Tabela 22 contém os preços das três soluções tecnológicas associados a um fornecedor de cada uma destas tecnologias.

Seguem-se as tabelas com os orçamentos detalhados para cada um dos sistemas.

Tabela 24 – Orçamento X10 [6].

X10 - EUROX10						
Funcionalidade	Designação	Ref.	Quant.	Preço unitário	Preço conjunto	Preço Total
Actuadores tomadas	Módulo aparelho tomada	AM12G	9	23,92 €	215,28 €	2.432,53 €
Actuador iluminação dim	Módulo lâmpada tomada	LM12G	4	23,92 €	95,68 €	
Actuador/controlo iluminação	Interruptor de parede tecla dupla	S2225	7	45,02 €	315,14 €	
Actuador/Controlo iluminação dim	Regulador parede tecla dupla	S2223	4	34,58 €	138,32 €	
Actuador/controlo estores	Interruptor estores	S3160E	3	60,88 €	182,64 €	
Controlo generalizado	Ecrã táctil	XTS36	1	798,00 €	798,00 €	
Controlo estores, iluminação dim, receptor IV	Conversor RF+IR/X10	IR/RF7243	3	50,17 €	150,51 €	
Controlo generalizado/configuração	Módulo para PC	CM15	1	74,98 €	74,98 €	
Controlo remoto	Controlo remoto RF+IR	S4072	3	65,57 €	196,71 €	
Controlo iluminação	Sensor movimento	MS13	2	29,46 €	58,92 €	
Segurança	Filtro de supressão de sinal e ruído	SFX40	1	97,66 €	97,66 €	
Bom funcionamento	Filtro monofásico de calha DIN	XTP040708	1	58,69 €	58,69 €	
Mão de obra	Instalação, programação, formação de utilização	-	1	50,00 €	50,00 €	

Tabela 25 – Orçamento QBUS (informação cedida pelo Engenheiro Rogério Tomás, Gestor de Produto da FFonseca, S.A.).

QBUS - FFonseca						
Funcionalidade	Designação	Ref.	Quant.	Preço unitário	Preço conjunto	Preço Total
Actuadores tomadas, iluminação e estores	Módulo Relé (8 saídas)	REL08	2	450,00 €	900,00 €	
Actuadores iluminação dim	Módulo Dimmer (4 saídas)	DIM04/300VA	2	430,00 €	860,00 €	
Controlo iluminação	Módulo de Entrada (16 saídas)	INP16	1	250,00 €	250,00 €	
Controlo iluminação dim	Interruptores Inteligentes (4 teclas)	SWC04	4	120,00 €	480,00 €	
Controlo estores, iluminação dim e receptor IV	Interruptores com Infravermelhos (4 teclas)	SWC04i	3	120,00 €	360,00 €	
Controlo generalizado	Painel Táctil	TSC58	1	1.250,00 €	1.250,00 €	
Controlo remoto	Comando infravermelhos		3	17,00 €	51,00 €	
Controlo	Controlador 16	CTL16	1	300,00 €	300,00 €	
Controlo generalizado/configuração	Ligação ao computador	ETH02	1	700,00 €	700,00 €	
Controlo iluminação	Detectores de Movimento	MDI01L	2	155,00 €	310,00 €	
Estética	Espeelhos Bticinio para interruptores e sensores	N4802LB	9	2,82 €	25,38 €	
Estética	Suporte Bticinio para interruptores e sensores	N4702	9	0,85 €	7,65 €	
Ligações	Cabos para o BUS (100m)		4	1,80 €	7,20 €	
Mão de obra (estimativa)	Instalação, programação, formação de utilização	-	1	350,00 €	350,00 €	
						5.851,23 €

Tabela 26 – Orçamento EIB [45] [46].

EIB - ABB					
Funcionalidade	Designação	Ref.	Quant.	Preço unitário	Preço conjunto
Actuadores tomadas	Actuador 12 saídas, 16 A, DIN	9694.3 SB-S14	1	570,00 €	570,00 €
Actuadores iluminação dim	Regulador Incandescência multicanal, 8 canais, DIN, 230 V	9653.12	1	736,00 €	736,00 €
Controlo iluminação dim (tecla dupla)	Sensor botão de pressão de 2 canais (Alpha) BA	9602 BA	3	47,50 €	142,50 €
Controlo iluminação dim	Sensor botão de pressão de 1 canal (Alpha) BA	9601 BA	1	39,00 €	39,00 €
Actuadores iluminação	Sensor entrada binária 8 canais 230 V, DIN	9695.6 EB-S4	1	350,00 €	350,00 €
Actuadores iluminação	Sensor entrada binária 4 canais 230 V, DIN	9695 -S1	1	220,00 €	220,00 €
Actuadores estores	Actuador estores 4 saídas, 6 A, 230 V, DIN	9652.3	1	305,00 €	305,00 €
Controlo generalizado	Ecrã tátil CORES avançado, sem espelho, 210 funções	9632 PT-7	1	1.280,00 €	1.280,00 €
Controlo generalizado	Espelho ecra tátil, vidro preto com tampa de alumínio	9632 M2	1	128,00 €	128,00 €
Controlo generalizado	Caixa de encastrar para ecra tátil	9632 CE-1	1	45,90 €	45,90 €
Controlo estores, iluminação dim, receptor IV	Sensor/interface receptor IV, 3 teclas, encastrar BA	9630.1	3	169,00 €	507,00 €
Controlo remoto	Comando à distância IV	8190	3	77,72 €	233,16 €
Controlo generalizado/configuração	Interface de comunicação USB/EIB-KNX de encastrar (Alpha)	9655 USB	1	131,00 €	131,00 €
Controlo iluminação	Sensor detector movimento EIB-KNX Arco BA	8241.8	2	106,00 €	212,00 €
Acoplador sensor movimento e interface USB	Acoplador ao bus de encastrar universal	9620	3	78,50 €	235,50 €
Alimentação	Fonte alimentação Bus com filtro 640 mA, DIN	9680.1	1	340,00 €	340,00 €
Segurança	Protector contra sobretensões de linha de bus	9667	1	57,50 €	57,50 €
Ligações	Cabo blindado para Bus livre de halogéneo (rolo 100m)	9684 LH	4	1,80 €	7,20 €
Mão de obra	Instalação, programação, formação de utilização	-	1	400,00 €	400,00 €
				5.939,76 €	

**Anexo 4****Tabela 27 – Orçamento para o módulo desenvolvido (fornecedor – TVLAR, Aveiro).**

Componente	Características	Unidades	Preço unid. (€)	Preço (€)	TOTAL (€)
PIC16F877	Microchip	1	9,50	9,50	40,27
Transformador	220V/9V AC	1	4,60	4,60	
Ponte rectificadora	2KPB02	1	0,90	0,90	
Regulador de tensão	L7805CV	1	0,55	0,55	
Hex inverter	SN74LS04N	1	0,60	0,60	
MAX232N	Texas Instr.	1	0,80	0,80	
Ficha DB9 Fêmea	RS232	1	0,50	0,50	
Cristal	20MHz	1	0,80	0,80	
Transistor	2N2222A	1	0,55	0,55	
Suporte para fusível		1	0,25	0,25	
Cabo de Alimentação	220V	1	2,90	2,90	
Fusível	200mA	1	0,10	0,10	
Placa Branca		2	4,70	9,40	
Pulsador		2	0,55	1,10	
LED		2	0,07	0,14	
LED alto brilho		1	0,55	0,55	
Bobine	220uH	2	0,45	0,90	
Condensador Electrolítico	1000µ 35V	1	0,45	0,45	
Condensador Electrolítico	1000µ 16V	1	0,30	0,30	
Condensador	0,1µF 275VAC	1	1,30	1,30	
Condensador	150nF 400V	1	0,25	0,25	
Condensador	2,7nF 100V	2	0,10	0,20	
Condensador	5,6nF 400V	2	0,15	0,30	
Condensador	100nF	7	0,10	0,70	
Condensador	10nF	1	0,10	0,10	
Condensador	15pF	2	0,10	0,20	
Condensador	100pF	2	0,10	0,20	
Condensador	10pF	2	0,10	0,20	
Condensador	150pF	2	0,10	0,20	
Díodo de Zener 1/2W	6V8	2	0,15	0,30	
Díodo	1N4007	1	0,07	0,07	
Resistência 1/4W	10M	2	0,02	0,04	
Resistência 1/4W	470	2	0,02	0,04	
Resistência 1/4W	100	3	0,02	0,06	
Resistência 1/4W	10k	8	0,02	0,16	
Resistência 1/4W	2k2	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	4k7	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	1M	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	33k	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	470k	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	220k	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	47k	1	0,02	0,02	
Resistência 1/4W	100k	1	0,02	0,02	
Fio condutor	1m	1	0,90	0,90	